

УДК 621.91.01

Р. П. Дидык, д.т.н., проф., Национальный горный университет, Украина, г. Днепропетровск

E-mail: didyk@mnu.org.ua

Создание условий для высокопродуктивной механической обработки износостойких чугунов

Разработана комплексная математическая модель в структурно-параметрическом виде, которая связывает систему неравенств показателей процесса обработки с техническими ограничениями, с одной стороны, и областью существования параметров течения износостойких чугунов инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов, отражающей технико-экономические показатели процесса с другой.

Ключевые слова: износостойкие чугуны, твердые сплавы, поликристаллические сверхтвердые материалы (композиты).

R. P. Didyk

Creating Conditions for Highly Productive Machining of Wear-Resistant Cast Iron

On the basis of the analysis is exhibited, that expansion of use difficulty working of materials in mechanical engineering and overcoming of problems connected to their machining, can be decided at use the cutting tool of polycrystalline superhard materials, with surplus in the basic characteristics considerably tool from firm alloys.

Keyword: wear-resistant cast irons, firm alloys, polycrystalline superhard materials (composites).

Одним из важнейших направлений технического прогресса в машиностроении является внедрение в производство материалов, обеспечивающих высокую конструкционную прочность и износостойкость, коррозионную и эрозионную стойкость деталей узлов и механизмов машин в течение всего заданного ресурса их эксплуатации[1].

Невзирая на достигнутые существенные успехи, за последние годы относительно создания принципиально новых материалов, особенно на базе порошковой и гранульной металлургии, а также слоистых и волокнистых композитов, удельное потребление в машиностроении сталей и чугунов преобладает. Сталь и чугун, как и раньше, остаются основными конструкционными материалами в производстве горных машин, больших корпусных изделий сложной геометрии, что технологически и экономически целесообразно, а часто является и единственно возможным.

При условиях острого дефицита легированных сталей и специальных сплавов особенную роль в машиностроении приобретают износостойкие чугуны с уникальными эксплуатационными свойствами. Однако широкое использование их ограничено, в том числе из-за проблем механической обработки. Исходя из этого, решение задачи повышения продуктивности механической обработки износостойких высокохромистых чугунов, широко используемых в горном машиностроении приобретают исключительно важное значение и актуальность.

Расширение объемов использования в машиностроении труднообрабатываемых материалов и проблема их обработки требуют и усовершенствования инструментальных материалов. Один из эффективных путей интенсификации процесса резания твердых материалов - применение поликристаллических сверхтвердых материалов для лезвийного инструмента. Поликристаллические сверхтвердые материалы имеют значительное преимущество в сравнении с твердым сплавом, превосходят его по твердости и термостойкости, что и определяет высокую износостойкость на высоких скоростях резания при безударной нагрузке.

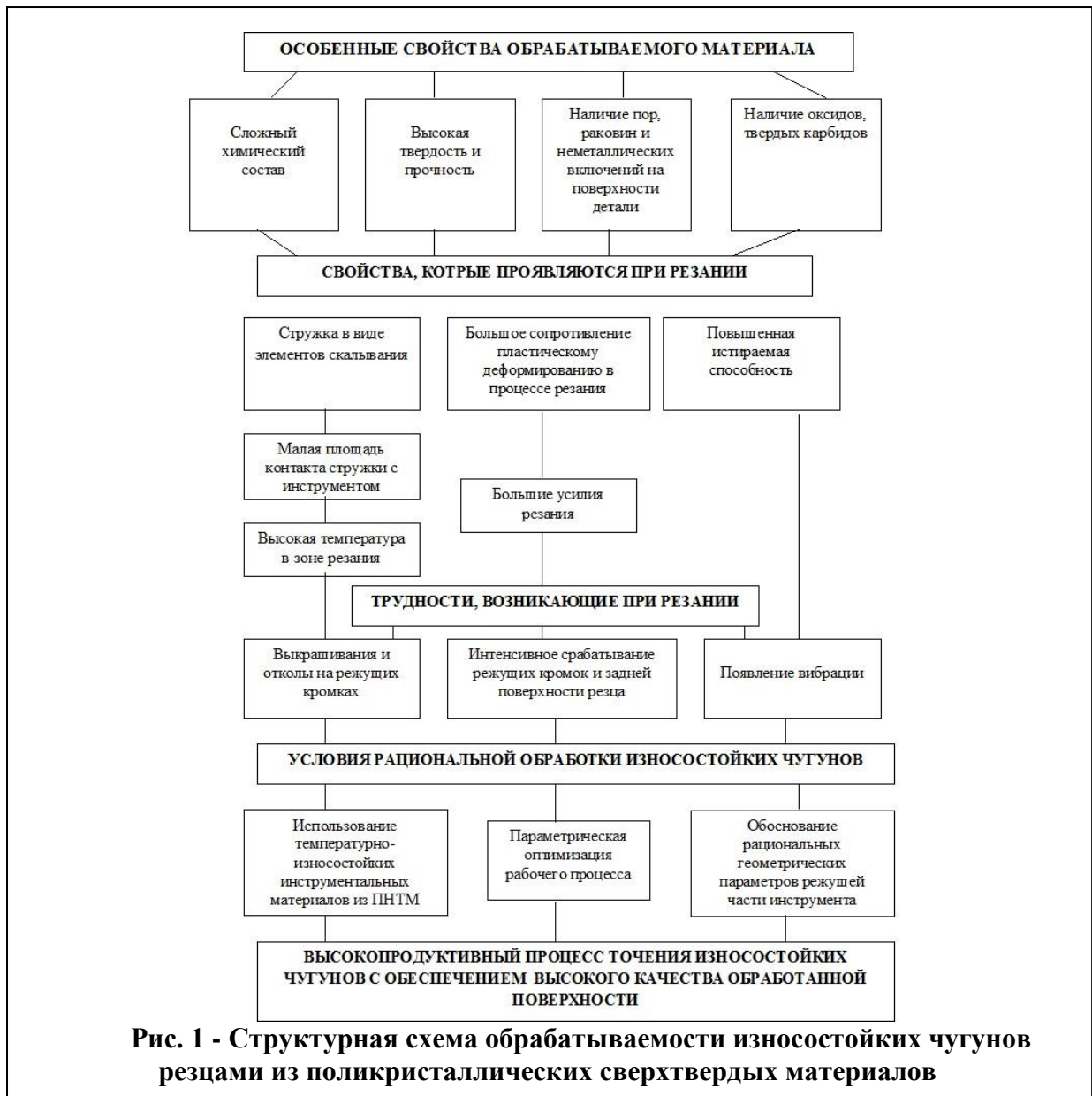
Особенности влияния свойств материала на условия механической обработки в виде структурной схемы представлены на рис. 1.

Важнейшими энергетическими показателями многофакторного управления параметрами процесса резания служат силы и температура резания, от уровня которых зависит интенсивность износа контактных поверхностей лезвия инструмента [2].

Результаты экспериментальных исследований, позволили установить функциональную связь высотного параметра R_a шероховатости поверхности и технологических факторов обработки высокопрочных чугунов инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов (композитов) марки киборит и ниборит¹.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из чугуна марки ИЧ2ЮХ28Г3С размерами $\varnothing 75 \times 100$, установленных на жесткой оправке токарных станков. Для получения комплексной зависимости проведены три серии экспериментов. В качестве режущего инструмента применялись сборные резцы с напайной вставкой из ПСТМ марки ниборит и из ПСТМ квадратной формы $12,7 \times 12,7 \times 4,76$ марки киборит. Неизменными геометрическими параметрами резательной части оставались углы в плане и задние углы.

¹ Киборит, ниборит – плотные модификации кубического нитрида бора



Явление стабильного снижения параметра R_a по мере увеличения твердости обрабатываемого материала базируется на опережающем влиянии эффекта уменьшения пластичности металла, снижении коэффициента трения, на задних контактных поверхностях инструмента. Процесс стружкообразования и формирование рельефа обработанной поверхности при точении чугунов имеет свои особенности и зависит от количества несвязанного углерода.

Влияние хрупкости неравнопрочного по структуре чугуна определяется тем, что инструмент, отделяя элементы стружки, выламывает отдельные частицы металла, которые лежат ниже плоскости геометрического следа. С повышением твердости и прочности обрабатываемого материала и снижением его пластичности - объем пластической деформации уменьшается, что приводит к уменьшению шероховатости поверхности. На этом основывается искусственное

повышение твердости материала термообработкой, часто используется для улучшения чистоты обработанной поверхности.

По мере роста износа задней поверхности наблюдается увеличение высоты волнистости поверхности. Главная причина этого - в увеличении высоты профиля неровностей бороздок-царапин по задней поверхности инструмента и "террасных микровыкрашиваний" по радиусу округления режущей кромки инструмента, который в известной мере копируется обработанной поверхностью.

Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость высоты микронеровностей от исследуемых факторов:

$$Ra = 19.83t^{0.1}s^{1.15}v^{-0.18} \left(\frac{HB}{200}\right)^{-0.2} \left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)^{-0.1} (1+r)^{-0.55}(1+h)^{0.6}(1)$$

где t, s, v – соответственно глубина, подача и скорость, HB – твердость обрабатываемого материала, γ , r, h – геометрические параметры режущей части инструмента.

Установленная количественная зависимость в структурно-степенном виде является одной из составляющих показателей математической модели расчета оптимальных значений режимов чистового точения и наиболее значимых параметров геометрии режущей части инструментов из композитов для чугуна разной твердости.

Задачу оптимизации механической обработки износостойких чугунов решено на основе исследований показателей процесса точения.

Для решения задачи оптимизации в работе использован симплекс-метод, в основе которого – идея упорядочения перебора вершин многогранной величины в n-мерном пространстве. Этот метод позволяет использовать целевую функцию сложных нелинейных зависимостей эксплуатационных и экономических показателей процесса обработки.

Математическая постановка задачи сводится к нахождению $\text{argmax}(x,y)$ для заданного вектора $y = \{y_1, \dots, y_k, \dots, y_m\}$ на множество массива:

$$z \triangleq \{x / Ax = b, x \geq 0, x \in R\}$$

матрицей размером $n \times l$

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{i1} & x_{n1} \\ x_{1j} & x_{ij} & x_{nj} \\ x_1 & x_{i1} & x_{n1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

и ограничениях

$$a_1(A) \geq b_1$$

.....

$$a_r(A) \geq b_k$$

.....

$$a_m(A) \geq b_m$$

и ограничениях $x_{ij} \geq 0 (i = \bar{1}, j = \bar{1}, 1), b_k \geq 0 (k = \bar{1}, m)$

Метод реализован в виде конечной последовательности итераций. Стратегия алгоритма состояла в выборе вектора y_x для занесения в базис, одновременно способствовала сокращению необходимой для сохранения информации и препятствовала проникновению в необозначенный базис.

Данный подход позволяет создать базу данных открытой структуры, которая при помощи технологии объектно-ориентированного программирования адаптирована к реальным условиям работы со стандартным пакетом прикладных программ.

Задачу оптимизации решено в два этапа. Сначала создано первичную базу данных, где размещались всевозможные варианты сочетаний независимых переменных, а потом для каждого определенного состояния рассчитаны значения целевых функций.

Как видно из анализа, математическая модель с шестью переменными, включая показатели себестоимости обработки, принятой как целевая функция, дает лучшие результаты расчетов. Полученные данные при одинаковых технических ограничениях параметров режима обработки и геометрии лезвия резцов при сравнении и механической обработки прецизионным инструментом свидетельствуют о росте продуктивности на 1,17...1,43 раза, объему снятия материала на 1,05...1,33 раза и снижению себестоимости на 1,18...1,31 раза. Наибольшее преимущество данной математической модели – ее способность определять обоснованную величину износа по задней поверхности режущей пластины как технологического критерия стойкости инструмента. Рациональные режимы резания и параметры геометрии режущей пластины из киборита и ниборита апробированы в производственных условиях и рекомендованы к внедрению (табл. 1).

Рациональная область внедрения инструмента из габаритных пластин композитов – операции точения «после корки» бочки прокатных и мельничных валков из легированных хромом и никелем отбеленных чугунов, каландровых валков и др.

Анализ результатов испытаний в целом свидетельствует о том, что в условиях рациональной эксплуатации при вероятности неразрушения инструмента ($P_T=0,8$) композитами, по сравнению с твердым сплавом, достигается увеличением объемной наработки на 1,9 раза, срока службы инструмента на 3,9 раза и снижению параметра шероховатости обработанной поверхности приблизительно в два раза.

Преимущество композитов особенно проявилось на второй и четвертой операциях, где требование по шероховатости $Ra=6,3$ и $2,5\text{мкм}$ твердым сплавом не выполняется. При подачах соответственно $s=0,3$ и

0,2мм/об композитами обеспечивается требование Ra=3,2 и 1,6 для валков экспортного исполнения.

Для повышения продуктивности механической обработки в производстве и успешного внедрения композитов необходимо:

- улучшить качество заготовок (переход от литья в металлический кокиль до центробежного способа);
- осуществить предварительная зачистка поковок и обдирочное шлифование литейной корки;
- использовать станки и сборные резцы с перетачиваемыми ПСТМ или вставками повышенной точности, жесткости и вибрационной стойкости.

Таблица 1

Оптимальные режимы точения при резании износостойких чугунов

Назначение операции, марка композита	Твердость чугуна, НВ	Режим резания			Геометрия лезвия			Технические ограничения									Оценочные показатели		
		t, мм	s, мм/об	v, м/с	γ, град	г, мм	h, мм	N, Вт	P _y , Н	P _x , Н	P _z , Н	θ, °С	T, мин	P _T	F	Ra, мкм	ЦФ=C _{Tmin} , пго/см ³	C _T , см ³	W, см ³ /мин
Получистовое точение, ниборит	400*	2	0,45	1,4	-15	3,2	0,8	3968	5014	1905	2834	873	48,1	0,84	15330	4,4	0,0016	75,6	3066
	600**		0,35	0,8	-20	2,0	0,7	3098	6755	2649	3872	975	51,3	0,82	7060	3,9	0,0034	33,6	1412
Чистовое точение, киборит	400*	1	0,25	1,7	-15	1,6	0,6	1397	1368	638	822	792	66,9	0,84	14362	2,4	0,0037	25,5	1437
	600**		0,20	1,1	-25			1314	2317	947	1195	909	64,3	0,85	7248	1,9	0,0072	13,2	725

Выводы

1. Экспериментально определены и исследованы действующие усилия и температуры, возникающие в зоне резания при обработке износостойких чугунов резцами из ПСТМ. Благодаря систематизации и обработке экспериментальных данных впервые получены комплексные зависимости в структурно-степенном виде, которые дают явные представления о влиянии каждого параметра процесса точения на его энергетические показатели.

2. Анализ затронутого вопроса обнаружил, что широкому применению высокотвердых износостойких чугунов в машиностроении в значительной мере препятствуют трудности, связанные с механической обработкой этого материала, обусловленные особенностями структуры и ее составляющих.

3. Инструментальное обеспечение чистовой и получистовой обработок износостойких чугунов в настоящее время осуществляется с использованием твердосплавных резцов, которые, как подтвердили исследование, имеют ограниченный ресурс стойкости, не обеспечивают

качество обработанной поверхности, мало эффективные при высоких скоростях резания.

4. Перспективное направление для механической обработки износостойких чугунов - применение режущего инструмента из сверхтвердых поликристаллических материалов, которые по комплексу основных физико-механических и эксплуатационных характеристик значительно превосходят твердые сплавы, обеспечивают высокую скорость резания с гарантированным качеством поверхности. Установлено, что для условий тяжелого машиностроения наиболее эффективное применение габаритных пластин из новых марок ПСТМ - киборита и ниборита.

Список литературы

1. **Дидык Р. П.** Проблемы и перспективы развития технологии машиностроения / Системы технологий // Сборник научных трудов. – Днепропетровск. – 1997. – С.3-6.

2. **Дидык Р.П., Кравченко Ю.Г., Мелещик В.А.** Силы и температура резания при точении композитами износостойких чугунов // Зб. нау. праць НГУ. – Дніпропетровськ. – 2002. – С.64-69.