

**Ключевые слова:**

твердый сплав,  
монолитные  
сверла, износ

**Keywords:**

carbide, solid drill,  
wear

# МЕТОД УСКОРЕННЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ МОНОЛИТНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СВЕРЛ

**Виктор АНДРЕЕВ, Виктор БАЛКОВ,  
Георгий БОРОВСКИЙ, Сергей МОЛОДЫК**

В статье приведены метод и последовательность ускоренных сравнительных испытаний монолитных твердосплавных сверл для сверления труднообрабатываемых материалов.

In article given method and sequence of accelerated comparative testing solid carbide drill for drilling hard-to-machine materials.

Современная технология обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, широко используемая на машиностроительных предприятиях оборонно-промышленного, авиационного, судостроительного и атомного комплексов, требует использования высокопроизводительных станков и новых инструментов из современных твердых сплавов с упрочняющими покрытиями [1, 2].

Недостаток информации по режимам резания и стойкости нового инструмента не позволяет эффективно использовать этот дорогостоящий инструмент при обработке конкретных деталей из труднообрабатываемых материалов на производстве. В свою очередь, производственные испытания для оценки технологических свойств нового инструмента неприемлемы, так как невозможно всякий раз эмпирически подбирать режимы резания при изготовлении деталей, особенно мелких серий.

Таким образом, необходимо разработать метод, порядок организации и условия проведения сравнительных испытаний твердосплавных монолитных сверл с последующей регламентацией обработки данных по результатам испытаний инструмента.

Описанный ниже метод основан на сравнении данных о процессах изнашивания нового и базового инструмента при резании. В его основе лежит идентичность условий резания в ходе эксперимента: одинаковые по физико-механическим свой-

ствам обрабатываемый материал, режимы резания, СОТС (смазочно-охлаждающие технологические средства) и их подвод в зону резания, жесткость технологической системы.

## ОБОРУДОВАНИЕ

Используемое оборудование, а также методы диагностики процесса резания должны обеспечить получение информации, отражающей реальные динамические и другие условия выполнения технологических операций, связанных с режимами резания и изнашиванием инструмента. При испытаниях сверл наиболее эффективно использование станков с ЧПУ.

Измерение износа режущего клина может быть выполнено контактным методом с использованием датчиков, либо по цифровому фотоснимку режущего клина с использованием переоборудованного микроскопа.

Для измерения сил резания (крутящий момент, осевая сила) используется динамометрическая аппаратура [3]. Например универсальный динамометр УДМ конструкции ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», непосредственно устанавливаемый на столе станка. При этом, в случае сверления следует устанавливать динамометр так, чтоб его центр совпадал с осью шпинделя станка для исключения влияния радиальных сил.

## ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

Для проведения испытаний твердосплавных сверл необходимо изготовление образцов квадратного профиля  $80 \times 80$  мм, высотой —  $H = 6D + D/2 \operatorname{tg} \phi + 3$  мм, где  $D$  — диаметр сверла,  $\phi$  — угол режущей части сверла. Поверхностный слой материала должен быть снят. Отклонение от указанных размеров образцов не должно превышать  $\pm 10\%$ . Параметр шероховатости обработанной поверхности под сверление не более  $Ra = 0,63$  мкм. Непараллельность торцевых поверхностей под сверление не должна превышать 0,02 мм.

Базовыми обрабатываемыми материалами являются:

- жаропрочный сплав на никелевой основе ЭИ868(ХН60ВТ) ГОСТ 5632-72;
- титановый сплав ВТ3-1 ГОСТ 19807-91.

Использование указанных материалов позволяет в наибольшей степени выявить эксплуатационные свойства режущего инструмента. Допускается использование других обрабатываемых материалов. Контрольная проверка твердости обрабатываемых материалов оформляется протоколами [4].

## РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Для проведения сравнительных стойкостных испытаний необходимо приобрести партию нового инструмента, аналогичного базовому (по длине и диаметру твердосплавных сверл).

На всех инструментах маркируется порядковый номер. После маркировки всех инструментов проверяются шероховатость поверхностей (шлифованных, заточенных) и геометрические параметры режущей части. Результаты проверки оформляются протоколами [4].

## СИСТЕМА ОЦЕНОК РЕЗУЛЬТАТОВ СРАВНЕНИЯ

При сверлении твердосплавными сверлами величина наибольшего износа зависит от большого количества факторов: обрабатываемый материал, режимы резания, геометрические параметры. В зависимости от сочетания указанных факторов участки наибольшего износа могут возникать в разных местах режущей кромки. Однако наибольший износ, несмотря на его локальный характер, оказывает непосредственное влияние на шероховатость и качество обработанной поверхности (особенно в случае локального износа в районе уголков сверла). Поэтому измерение износа сверл осуществляется по его наибольшему значению, особенно при проведении сравнительных испытаний сверл с разными геометрическими параметрами.

Наряду с этим, осуществляется контроль макрорывкрашиваний режущей кромки, величина которых превышает величину наибольшего износа.

Ширина ленточки износа и макрорывкрашиваний режущей кромки измеряется в плоскости главной режущей кромки и перпендикулярно к оси.

Перед измерением режущий клин должен быть очищен от налипшего материала.

Прямыми критериями затупления являются:

- а) наибольшая ширина  $h_3$  ленточки износа по задней поверхности ( $h_3 = 0,04 D$ );
- б) макрорывкрашивания  $hN$  режущей кромки с размерами  $hN > h_3 = 0,04 D$ ;
- в) интенсивность износа путем построения зависимости  $h = f(T)$ , где  $T$  — наработка на отказ по критерию, описанному в п. «а».

В качестве косвенных критериев затупления могут быть использованы:

- величина составляющих сил резания (крутящий момент, осевая сила), которая может указать на ухудшение условий сверления вследствие «затирания» ленточек, обусловленного налипанием мельчайших частиц металла, что, в свою очередь, ухудшает шероховатость и качество обрабатываемой поверхности. В данном методе рекомендуется для новых сверл не превышать более чем на 30% значений сил резания, полученных при испытаниях базовых сверл на период времени, принятый за величину стойкости;
  - амплитудно-частотные характеристики колебаний инструмента, дополнительно характеризующие работоспособность сверла (особенно при испытаниях удлиненных сверл). При этом рекомендуется для сверл не превышать более чем на 20% значений амплитуд колебаний инструмента в процессе резания, полученных при испытаниях базовых сверл;
  - величина износа по ленточкам, который может привести к образованию обратного конуса на сверле. Кроме того, износ по ленточкам неизбежно связан с большим объемом удаляемого металла при переточке сверл;
  - шероховатость обработанной поверхности, получаемой после обработки новыми сверлами, не должна превышать шероховатость поверхности после обработки базовыми сверлами.
- Измерение и контроль косвенных параметров позволяют лучше понять причины уменьшения наработки на отказ испытываемых сверл, но в данной методике их проведение носит рекомендательный характер.

## УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

При проведении сравнительных испытаний для базовых исследуемых сверл выбираются режи-

мы резания ( $V$ , м/мин — скорость резания,  $S_0$ , мм — подача на оборот,  $L$ , мм — глубина сверления) из условия, что базовые сверла должны иметь период стойкости в пределах 10–12 мин.

Выбираются режимы резания 1, 2 и 3 при обработке жаропрочных сплавов на никелевой основе и режим резания 4 при обработке титановых сплавов, ориентировочные значения которых приведены в *таблице*.

Таблица. Используемые режимы резания

Режимы резания	$V$ , м/мин	Диапазон $D$ , мм		$L$ , мм
		3–15	16–20	
		$S_0$ , мм/об		
Режим 1. Для никелевых сплавов	16–19	0,012 $D$	0,01 $D$	3 $D$
Режим 2. Для никелевых сплавов	22–25	0,009 $D$	0,008 $D$	
Режим 3. Для никелевых сплавов	27–30	0,007 $D$	0,006 $D$	
Режим 4. Для титановых сплавов	35–40	0,008 $D$	0,007 $D$	

Примечание:  $D$  — диаметр рабочей части сверла.

С целью сокращения затрат на предварительные испытания в случае идентичности процесса износа режущего клина используется ускоренный метод, основанный на выработке энергетического ресурса режущего инструмента.

$$\frac{\sum_1^k t_i}{T(\epsilon_i)} = 1,$$

где  $T(\epsilon_i)$  — период стойкости инструмента при его работе на режимах резания  $\epsilon_i$ ;

$t_i$  — время работы инструмента на различных режимах резания;

$k$  — количество вариантов режимов резания (см. *таблицу*).

При построении функциональных кривых износа их аналогия указывает на идентичность процесса износа режущего клина. В таком случае, при относительно узком диапазоне режимов резания и постоянстве геометрических параметров, возможно на одном инструменте (без восстановления его режущих свойств) определить период стойкости инструмента при различных режимах резания.

При коэффициенте вариации значений стойкости менее 0,2 на каждом режиме резания испытания проводятся тремя базовыми и тремя новыми сверлами. При коэффициенте вариации равном 0,21–0,3 количество сверл увеличивается до 5 шт.

В процессе испытаний осуществляется чередование базовых и новых сверл. В перерывах между проходами осуществляется измерение величины износа по задней поверхности режущего клина. Необходимо осуществлять не менее трех измерений в течение 3–5 мин.

В процессе обработки на выбранных режимах резания фиксируется время обработки, а при измерении сил резания отслеживается их изменение во времени.

При сверлении отверстия не должны быть ближе 2–3 мм от любого ребра заготовки. Расстояние между осями просверливаемых отверстий должно быть не менее 1,3  $D$ .

В процессе сверления используется 10%-ная эмульсия из эмульсола ЭГТ. Возможно использование других СОТС.

Испытания продолжают до заданного критерия затупления (ширина  $h_3$  ленточки износа по задней поверхности до 0,3 мм). Данные обработки результатов испытаний заносятся в протокол, форма которого приведена в методических указаниях [5].

С целью дополнительного сокращения времени испытаний предлагается при обработке никелевых сплавов придерживаться приведенной ниже последовательности проведения испытаний.

### Этап 1

На первом этапе испытания проводят в режимах резания, указанных в *таблице*. По завершении эксперимента анализируются значения износа, выкрашиваний и время работы исследуемого сверла по сравнению с базовым.

1.1. Если время сверления новыми сверлами до появления на них выкрашиваний, превышающих величину износа, и время достижения заданной величины износа у новых сверл меньше, чем у базовых, то это указывает на то, что новые сверла не пригодны для работы на режимах 1, 2 и 3.

1.2. Если имеются выкрашивания, но время до достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых — данные сверла не пригодны для работы в режиме 1, и необходимо переходить на режим 2 (см. *таблицу*).

1.3. Если выкрашиваний нет, а время обработки до достижения заданного износа у новых сверл меньше, чем у базовых, то новые сверла не пригодны для работы в режиме 1, а режимы 2 и 3 исключаются.

1.4. Если выкрашивания отсутствуют, а время обработки до достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых, то новые сверла считаются лучше базовых и рекомендуются для работы в режиме 1. После этого следует перейти ко второму и третьему вариантам испытаний.



## Этап 2

На втором этапе испытывают новые сверла, прошедшие испытания на первом этапе для режимов обработки 2 (см. таблицу). По завершении эксперимента проводится анализ значений износа, выкрашиваний и времени работы испытуемого инструмента по сравнению с базовыми сверлами.

2.1. Если время обработки до появления выкрашиваний и достижения заданного износа у новых сверл меньше, чем у базовых, то новые сверла не пригодны для работы на режимах 2 и 3.

2.2. Если выкрашивания отсутствуют, а время обработки до достижения заданного износа у новых сверл меньше, чем у базовых, то новые сверла не рекомендуются для работы в режиме 2.

2.3. Если имеются выкрашивания, но время до достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых, то новые сверла не рекомендуются для работы на режиме 2, следует перейти на режим 3 (см. таблицу).

2.4. Если выкрашивания отсутствуют, а время обработки до достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых, то новые сверла считаются лучше базовых и рекомендуются для работы в режиме 2. В этом случае следует перейти к третьему этапу испытаний.

## Этап 3

Третий этап проводится для новых сверл, прошедших с первого и второго этапов испытаний, или новых сверл, предложенных фирмой-изготовителем, для работы в режиме 3 (см. таблицу).

3.1. Если время обработки до появления выкрашиваний и достижения заданного износа у новых сверл меньше, чем у базовых — новые сверла не пригодны для работы в режиме 3.

3.2. Если время обработки до достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых, но присутствуют выкрашивания, превышающие допустимый износ, то новые сверла не пригодны для работы в режиме 3.

3.3. Если время обработки до появления выкрашиваний и достижения заданного износа у новых сверл больше, чем у базовых, то новые сверла считаются лучше базовых и рекомендуются для работы в режиме 3.

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Абсолютные значения стойкости при испытании конкретного вида инструмента даже в одной выборке всегда будут различаться. Происходит это вследствие влияния на стойкость множества факторов, определяющих качество конкретного инструмента и условия работы. Так как невозможно учесть влия-

ние всех действующих факторов, то в соответствии с требованиями ГОСТ 25751 «Инструменты режущие. Термины и определение общих понятий» устанавливается понятие «Средний период стойкости», который определяется по формуле:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n},$$

где  $T$  — фактическая стойкость конкретного инструмента, взятого из одной выборки;  $n$  — количество испытанного инструмента.

Ввиду того, что одно и то же значение средней стойкости может получиться при различных сочетаниях частных значений стойкости, для оценки значений полученного разброса частных значений стойкости используется среднее квадратичное отклонение, рассчитываемое по формуле:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}.$$

Для оценки разброса стойкости в относительном виде используется коэффициент вариации, который рассчитывается по формуле:

$$\text{var} = \frac{\hat{\sigma}}{\bar{T}}.$$

Максимальное значение коэффициента вариации не должно превышать 0,3.

При различии двух средних значений стойкости инструмента (базового и исследуемого) проводится оценка существенности их различия по критерию Стьюдента:

$$t_{\alpha} = \frac{\bar{T}_1 - \bar{T}_2}{\sqrt{\frac{n_1 \times \sigma_1^2 + n_2 \times \sigma_2^2}{n_1 + n_2} \times \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}.$$

Если абсолютная величина  $ta$  превышает табличное значение квантиля распределения Стьюдента  $t_{\gamma}$ , то различие считается значимым.

При этом значение  $t_{\gamma}$  определяется для заданной доверительной вероятности в зависимости от уровня значимости ( $\alpha = 1 - \gamma$ ) и числа степеней свободы ( $k = n - 1$ ).

## Выводы

Проведение сравнительных стойкостных испытаний по определению эффективности покупного инструмента на предприятии позволяет:

→ сократить затраты предприятия на сравнительные испытания инструмента;

- исключить субъективный фактор при оценке режущих свойств нового инструмента;
- выбрать для предприятия наиболее эффективный инструмент по критерию «цена — качество»;
- использовать результаты проведенных испытаний при совершенствовании конструкций базовых инструментов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Андреев В.Н., Боровский Г.В., Боровский В.Г., Григорьев С.Н.* Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания. — М.: Машиностроение, 2010. 480 с.
2. *Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р.* Современные технологии обработки материалов. — М.: Машиностроение, 2015. 340 с.
3. *Maslov A.R.* Analysis of experimental data on microcutting forces // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. № 7. P. 561—563.
4. *Семенченко Д.И., Мещеряков А.И., Андреев В.Н., Борисов С.П.* Типовые программа и методика госу-

дарственных испытаний режущего инструмента. — М.: ВНИИТЭМР, 1988. 31 с.

#### **Виктор Николаевич АНДРЕЕВ —**

*кандидат технических наук, заведующий лабораторией исследования процессов резания конструкционных материалов ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»*

#### **Виктор Павлович БАЛКОВ —**

*кандидат технических наук, заместитель генерального директора ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» по науке*

#### **Георгий Владиславович БОРОВСКИЙ —**

*кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»*

#### **Сергей Ульрихович МОЛОДЫК —**

*кандидат технических наук, заведующий отделом металлорежущих инструментов из новых и перспективных инструментальных материалов и с износостойкими покрытиями ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»*

## Промышленные предприятия Удмуртии создают условия для запуска «сетевого завода»

«Промышленные предприятия Удмуртии в рамках стратегии развития Удмуртского машиностроительного кластера создают условия для запуска “сетевого завода” — особой формы кооперации предприятий, необходимой для опережающего развития промышленности», — заявил генеральный директор управляющей компании кластера Денис Гаврилов.

«Стратегия Удмуртского машиностроительного кластера предусматривает формирование условий для массового выхода на рынок технологических и сервисных компаний, обеспечивающих кооперацию и контрактное производство, и на этой основе разворачивание в регионе пакета технологий двойного назначения», — сказал Денис Гаврилов. Таким образом, в республике будут созданы условия для появления «технологических предпринимателей, выстраивающих свой бизнес, используя огромный технологический задел, накопленный научными центрами в области технологий двойного назначения, и потенциал предприятий ОПК».

Денис Гаврилов подчеркнул, что совместная работа позволит «ответить на современные вызовы, связанные с геополитическим обострением и разворачивающейся новой промышленной революцией, подразумевающей внедрение информационных технологий на производстве и сетевые способы организации производственной деятельности». В свою очередь, инициатор проекта «Сетевой завод» Алексей Мыльников сообщил, что коллективная деятельность способствует в достижении поставленных целей по целому ряду важных направлений.

«Концепция «сетевого завода» позволит организовать в Удмуртии гибкие производства с быстрой реакцией на потребность в выпуске высокотехнологичной продукции, обеспечить взаимодействие производства с научными центрами и частными R&D-компаниями и приведет к созданию специализированных информационных и технологических инфраструктур поддержки создания новых бизнесов, будет способствовать снижению издержек предприятий и повышению производительности труда», — отметил Алексей Мыльников.

Удмуртский машиностроительный кластер — интегрированная научно-промышленная система, в основе которой находится оборонно-промышленный комплекс, включающий в себя производителей стрелкового боевого, гражданского и спортивного оружия, ракетных вооружений, радиоэлектроники, беспилотных систем и робототехники. Планируется, что финансироваться кластер будет за счет средств федерального и регионального бюджетов и собственных средств предприятий. Глава Удмуртской Республики Александр Соловьев сообщил, что на функционирование Удмуртского машиностроительного кластера в этом году будет выделено 360 млн. руб. из федерального бюджета и 22 млн. — из республиканского. Всего к 2020 году общий объем инвестиций в кластер должен вырасти до 267 млрд. руб.

[www.minpromtorg.gov.ru](http://www.minpromtorg.gov.ru)