

УДК 621.95:621.7.079

В.П. Ларшин, д-р техн. наук, проф., Одес. нац. политехн. ун-т,
Н.В. Лищенко, канд. техн. наук, Одес. нац. акад. пищевых технологий,
Е.А. Трифонова, магистр, Одес. нац. политехн. ун-т

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ПРИ СВЕРЛЕНИИ

В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, К.О. Трифонова. **Експериментальне дослідження технологічних мастил при свердлінні.** Приведено методику і результати експериментального дослідження твердих технологічних мастил при свердлінні отворів малого діаметру.

В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, Е.А. Трифонова. **Експериментальное исследование технологических смазок при сверлении.** Приведены методика и результаты экспериментального исследования твердых технологических смазок при сверлении отверстий малого диаметра.

V.P. Larshin, N.V. Lishchenko, E.A. Trifonova. **Metal-working Lubricants Experimental Study in Drilling.** Techniques and results of a metal-working lubricants experimental study in drilling of small diameter holes are given.

Ресурс стойкости режущего инструмента (РИ) относится к одному из важнейших технологических резервов повышения производительности лезвийной и абразивной обработки резанием при требуемых (по чертежу) шероховатости поверхностей детали, точности их размеров, формы и взаимного расположения. Известны следующие основные направления повышения стойкости РИ:

— Использование эффективных технологий получения высокопрочных твердых сплавов (например, технология градиентного спекания) и нанесение на них специальных износостойких покрытий ($TiCN$, $TiCN-Al_2O_3-TiN$) с последующей полировкой этих покрытий для уменьшения внутренних растягивающих напряжений [1].

— Выбор и применение при обработке эффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС): жидких, твердых и газообразных, тип которых зависит от исходной связующей основы (вода, минеральное или синтетическое масло, жирные насыщенные и ненасыщенные органические кислоты). СОТС оказывает охлаждающее, смазочное, моющее, химическое и адсорбционное действие.

Известно, что в ряде случаев применение жидких СОТС затруднено или недопустимо [2]. В таких случаях применяют твердые технологические смазки (ТТС). Это имеет место при работе на станках, неоснащенных системой подвода жидких СОТС (сверление, шлифование), а также в случае, когда жидкие СОТС недопустимы. Например, в ряде случаев применение жидких СОТС приводит к появлению микротрещин на обрабатываемой поверхности или закрывает её обзор (зубошлифование тарельчатыми кругами на станках типа МААГ, заточка режущего инструмента и т.п.). В литературе не нашло должного отражения направление, связанное с применением твердых технологических смазок (ТТС) при сверлении отверстий и шлифовании “всухую”. При сверлении мелких отверстий (диаметром меньше 5 мм) сверла не требуют дополнительного охлаждения, поскольку выделяющееся при резании тепло поглощается обрабатываемой заготовкой (вокруг работающего сверла металлическая окружающая среда, отводящее тепло). В то же время применяемые составы ТТС оказывают существенное влияние на смазочное, химическое и адсорбционное действие. ТТС наносится путем пропитки (импрегнирования) режущего инструмента (абразивный круг) или нанесения ТТС на рабочую поверхность инструмента (сверло, метчик). В качестве компонентов ТТС применяют графит, нитрид бора, тальк, дисульфид (или диселенид) молибдена, серу и пр.

Представляется, что следующим перспективным направлением повышения стойкости режущего инструмента является принципиально новый подход, основанный на применении смазочных ремонтно-восстановительных составов на основе, например, серпентинита. Такие составы позволяют не только снизить трение между режущим инструментом и заготовкой, но также восстанавливать изнашиваемый контур лезвия инструмента благодаря возникающему в зоне

резания эффекту избирательного переноса серпентинита на изношенные участки инструмента в условиях высоких давлений и температур, которые возникают в зоне контакта.

Большую группу ТТС составляют составы на основе жирных органических кислот, например, на основе стеариновой кислоты, а также на основе смеси стеариновой и олеиновой кислот [3]. Добавки, вносимые в эти составы ТТС, позволяют целенаправленно изменять их технологические свойства. Возникает задача проведения сравнительного анализа различных ТТС с целью определения наиболее эффективных составов ТТС, например, на операции сверления мелкогабаритных отверстий (диаметром 2...5 мм). Анализуются результаты измерения параметров, характеризующих процесс резания. Например, при сверлении мелких отверстий к числу таких параметров относятся крутящий момент на сверле и осевая сила резания.

Для проведения анализа необходимо иметь соответствующие инструментальные средства, встроенные в металлорежущий станок и обладающие необходимой чувствительностью и линейностью характеристик первичных преобразователей информации. Их отсутствие или низкое качество (по чувствительности, быстродействию, линейности характеристик) не позволяют получить достоверные результаты об эффективности процесса резания с применением разных составов ТТС. Фирмой ООО «Станкоцентр» (г. Москва) разработана система ЧПУ «Flex NC», имеющая открытую архитектуру, встроенную измерительную систему и систему автоматического сбора данных.

Испытания семи составов ТТС проводили на координатно-расточном станке, оснащенный системой ЧПУ «Flex NC», при сверлении глухих отверстий (глубина сверления 10 мм) в заготовке из стали 35 (НВ 190...210). Режимы сверления: частота вращения сверла 2000 об/мин; подача 50 мм/мин. Сверла: сталь Р18, диаметр 2,85 мм. Количество просверленных отверстий для каждой рецептуры ТТС — 30 шт. Для повышения надежности экспериментальных данных каждый опыт повторяли три раза с дальнейшим усреднением результата.

ТТС № 1	ТТС № 5
Масло И-20, % 15	Масло И-20, %.....2...3
Олеиновая кислота, % 20	Сера техническая, %.....30...40
Стеарин..... остальное	Диселенид молибдена, % 10...20
ТТС № 2	Полиизобутилен, % 0,5...1
Масло И-20, % 10	Стеарин остальное
Олеиновая кислота, % 20	ТТС № 6
АРВК (ООО «Венчур-Н»), % 2	Стеариновая кислота, %..... 60...65
Стеарин..... остальное	Олеиновая кислота, % 20 ...25
ТТС № 3	Ацетанилид остальное
Масло И-20, % 30	ТТС № 7
Сера, % 40	Масло И-20, %..... 10
Стеарин..... остальное	Олеиновая кислота, % 20
ТТС № 4	Серпентинит, %..... 3
Масло И-20, % 3	Стеарин остальное
Окись хрома, %..... 20	
Стеарин..... остальное	

Среди перечисленных составов ТТС имелись новые, ранее не испытанные составы: ТТС № 1, ТТС № 2 и ТТС № 7. Причем, ТТС № 2 и ТТС № 7 имеют общую связующую основу, которой является состав ТТС № 1. Такой подход позволяет установить влияние дополнительных (по отношению к ТТС № 1) компонентов, которыми являются трибополимеробразующая присадка ЭФ-357 и ресурсовосстанавливающее вещество на основе природного силиката магния (серпентинит) [4].

В процессе эксперимента измеряли (с частотой 200 Гц) крутящий момент и осевую силу резания при сверлении. В качестве сигналов общего крутящего момента и общей осевой силы резания использовали квадратурные токи соответствующих приводов станка: привода главного движения и привода вертикальной подачи. Эти сигналы используются в указанных приводах для прецизионного автоматического регулирования частоты вращения соответствующих асинхронных

электродвигателей. В системе ЧПУ “Flex NC” эти сигналы сделаны доступными для проведения диагностики технологической системы механической обработки. При работе станка автоматически формируются файлы, содержащие измерительную информацию в формате *ppl*.

Для того, чтобы обработать большое количество экспериментальных данных, удобно применить пакет MATLAB — среду и язык программирования для компьютерной обработки данных. Это вызвано тем, что возможности стандартного файла приложения Excel ограничены числом измерений, не превышающим 65536 и возможностью построения графика по результатам первых 32000 измерений.

Методика обработки измерительной информации содержала следующие этапы:

1. В приложении Excel открыть первичный файл измерительных данных (с расширением *ppl*), в котором удалить служебную информацию.

2. Выбрать вид аппроксимирующей зависимости, необходимой для решения задачи (например, “скользящее усреднение”, позволяющее выделить тренд из текущих высокочастотных измерений).

3. Так как в приложении Excel исходные файлы данных (*ppl*) ограничены количеством точек измерений (60766), объединить эти файлы в единый файл с помощью менеджера файлов, каким может быть, например, FAR manager.

4. В среде MATLAB создать *m*-файл (программа на языке MATLAB), в котором реализован выбранный алгоритм обработки данных (“скользящее усреднение”). Для обработки полученного единого файла запустить программу MATLAB, в рабочем окне которого необходимо ввести название *m*-файла и единого файла *ppl*. Полученный после обработки окончательный файл (читается в приложении Excel) имеет два столбца новых данных, соответствующих двум информационным сигналам: общему крутящему моменту и общей осевой силе (рисунки 1 и 2).

5. В среде MATLAB создать *m*-файл, который позволяет из информации, имеющейся в файле, полученном в п.4, выделить тренд изменения полезного крутящего момента резания и полезной осевой силы резания. Таким образом, можно проследить изменение этих сигналов в пределах сверления, например 30-ти отверстий.

Построение и преобразование математической модели измеряемых сигналов можно пояснить схемой (см. рисунок 1).

Первичный сигнал преобразуют, применяя к нему метод “скользящее усреднение” (рис. 1, а). Это позволяет сократить объем измерительной информации путем ее усреднения, сохраняя при этом вклад всех первичных данных в математическую модель сигнала (рис. 1, б).

В соответствии с алгоритмом вводят численные значения верхнего и нижнего порогов сигнала (ВП и НП на рис.1, в), которые характеризуют два состояния технологической системы: резание и холостой ход. Если текущий уровень сигнала превышает ВП, то его на этом участке (участке превышения) усредняют по алгоритму “среднее арифметическое”. Если текущий уровень сигнала ниже, чем НП, то его так же усредняют по указанному алгоритму на соответствующем участке (участке понижения). В результате формируется очередная математическая модель суммарного сигнала. Для выделения полезного сигнала (полезного крутящего момента и полезной осевой силы резания) находят разность между средними его значениями (уровни А и В на рисунке 1, в). Эту разность находят дважды: на переднем и заднем фронтах сигнала, соответственно. Например, 30-ти просверленным отверстиям будут соответствовать 60 точек, характеризующих полезный сигнал.

В соответствии с моделью формирования разности уровней сигнала формируют массив измерительной информации, характеризующий изменение полезного сигнала во время работы станка (рис. 1, з). Заключительным этапом моделирования сигнала является выделение соответствующего тренда, характеризующего работу сверла во времени. Это может быть линейная или полиномиальная (рис. 1, д) аппроксимация этого сигнала.

В качестве примера на рисунках 2 и 3 приведены фрагменты осциллограмм, соответствующие табличным данным, полученным в п. 4 указанного плана. Амплитуда импульсов

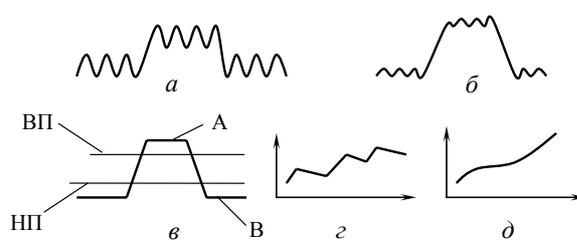


Рис. 1. Схема преобразования математической модели измеряемых сигналов: ВП, НП — верхний и нижний пороги сигнала; А, В — усредненные значения сигнала при резании и холостом ходе; а, б, в, г, д — формы сигналов на разных этапах его преобразования

не более 2 % от возможной загрузки приводов главного движения и вертикальной подачи. На кривой 1 (рис. 2) виден участок холостого хода (интервал А...Г), участки резания (Д...Е) и выхода инструмента (Е...Ж). На кривой 2 участок холостого хода имеет два уровня (интервалы А...Б и В...Г). Это связано с переключением подачи с ускоренной величины (А...Б) на рабочую величину (В...Г). Интервал времени Г...Д соответствует врезанию режущей части сверла в заготовку. Видно, что этот интервал сопровождается ростом суммарной осевой силы резания, в то время как суммарный крутящий момент на шпинделе станка находится на уровне холостого хода (не увеличивается).

Точки цикла сверления А...Ж на рис.3 соответствуют одноименным линиям на рис. 2. В отличие от рис.2 участок В...Г очень короткий и на рис. 3 не показан (линии В и Г очень близки, на рис.3 они практически совпадают). Это вызвано тем, что для уменьшения потерь времени длину пути холостого хода сверла (интервал В...Г) уменьшили приблизительно в 5 раз. Однако, также как и в первом случае, врезание конической режущей части сверла в заготовку сопровождается ростом осевой силы резания, в то время как крутящий момент на шпинделе станка не увеличивается.

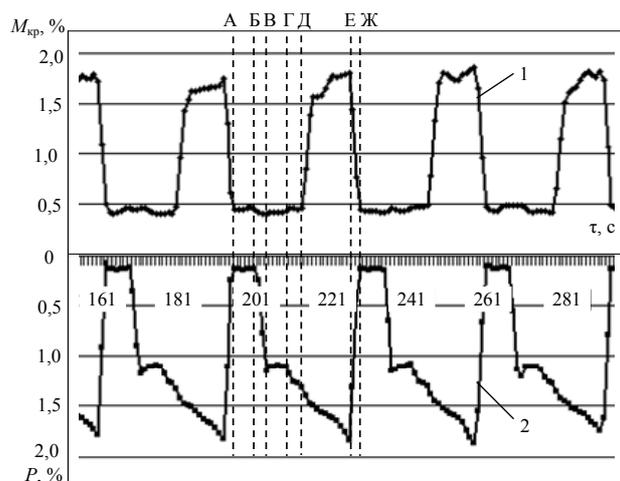


Рис. 2. Сигналы суммарного крутящего момента (кривая 1) на шпинделе станка и суммарной осевой силы резания (кривая 2) после “скользящего усреднения”: А...Ж — интервал времени цикла сверления

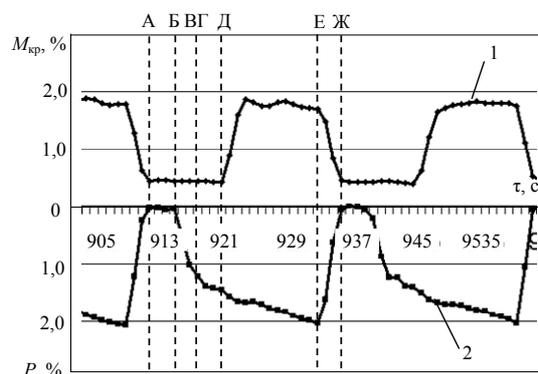


Рис. 3. Сигналы суммарного крутящего момента (кривая 1) на шпинделе станка и суммарной осевой силы резания (кривая 2) после “скользящего усреднения”: А...Ж — интервал времени цикла сверления

Результатом применения описанной методики обработки сигналов являются графики изменения полезного крутящего момента (M на рис.4) и полезной осевой силы (P_{in} на рис.5) резания в зависимости от времени работы сверла, которое пропорционально количеству точек измерения (N на оси абсцисс).

Количество точек измерения (60) на рисунках 4 и 5 в два раза больше количества просверленных отверстий (30), так как полезный уровень сигналов M и P_{oc} определяют дважды при сверлении одного отверстия: в моменты начала и окончания резания. Это позволяет учесть нестабильность уровня сигнала холостого хода, например, сигнала M_{∞} .

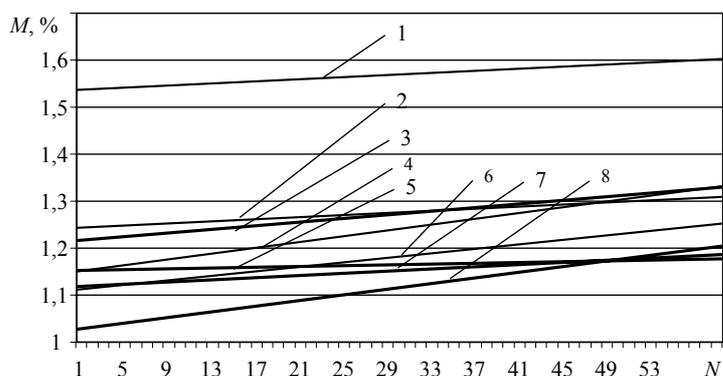


Рис. 4. Изменение полезного крутящего момента при сверлении: 1 — резание всухую; 2 — ТТС № 4; 3 — ТТС № 2; 4 — ТТС № 1; 5 — ТТС № 6; 6 — ТТС № 5; 7 — ТТС № 7; 8 — ТТС № 3

В соответствии с принятым алгоритмом определяют разность между двумя крутящими моментами на шпинделе: суммарным при сверлении M_{Σ} и тем, который имеется на том же шпинделе при отсутствии сверления (в режиме холостого хода, M_{xx}). Эту разность $M_{\Sigma} - M_{xx}$ определяют до начала резания и после его окончания, т.е. два раза при сверлении одного отверстия. Уровень M_{xx} не является постоянным, например, в связи с прогревом механизмов привода (нагретые за время резания детали механизмы имеют изменённые силы взаимодействия, за время холостого хода они охлаждаются т.д.). Аналогичные рассуждения можно привести по отношению к осевой (вертикальной) силе резания (рис. 4).

Анализ рисунков 4 и 5 показывает, что с увеличением времени работы сверла (пропорционально номеру точки измерения по оси абсцисс) полезный крутящий момент M (рис. 4) и полезная осевая сила резания (P_{oc} на рис. 5) пропорционально возрастают на 4...16 и 1...4 %, соответственно. Разрешающая способность измерительной системы для параметров M и P_{oc} составляет 0,1 и 0,05 %, соответственно. Это позволяет надёжно выявить различие в указанных параметрах для разных составов ТТС. Видно, что наибольшие значения M и P_{oc} имеют место при резании всухую (линия 1 на рисунках 4 и 5), т.е. без использования смазок, а наименьшие — при использовании составов ТТС, содержащих серпентинит, серу и диселенид молибдена (линии 6, 7, 8 на рисунках 4 и 5).

С увеличением времени работы сверла параметры M и P_{oc} (рассматриваемые изолированно друг от друга) для разных составов ТТС возрастают с разной скоростью и сближаются. Например, на рис.4 линии 2 и 3 сближаются при $N = 30$, а линии 3 и 4 — при $N = 54$. Другими словами, разные составы ТТС через некоторое время работы сверла могут сопровождаться одинаковыми значениями, как для крутящего момента M , так и для осевой силы P_{oc} .

Очевидно, что наиболее эффективными составами ТТС являются такие, при которых параметры M и P_{oc} принимают наименьшее значение. Как видно из приведенных рисунков 3 и 4 к числу таких составов ТТС относятся составы № 3, 5, 7. Следовательно, дальнейшие исследования необходимо проводить с использованием этих составов.

Выводы.

1. Разработана методика компьютерной обработки большого количества измерительных данных (26×10^6 и более измерений), собираемых с помощью измерительной системы, встроенной в систему ЧПУ "Flex NC" (ООО "Станкоцентр", г. Москва). Эта методика содержит ряд последовательных этапов обработки измерительной информации с формированием и преобразованием соответствующих математических моделей измеряемых сигналов на основе применения стандартного приложения Excel и пакета MATLAB по схеме: Flex NC → FAR manager → MATLAB → Excel → MATLAB → Excel. При этом файлы, содержащие измерительную информацию, претерпевают соответствующие изменения форматов ($ppl \rightarrow dat \rightarrow xls$).

2. Установлены новые закономерности процесса резания при сверлении: осциллограммы суммарного крутящего момента на шпинделе и суммарной осевой силы резания имеют разный характер изменения. Причем, суммарный крутящий момент на участке резания не претерпевает

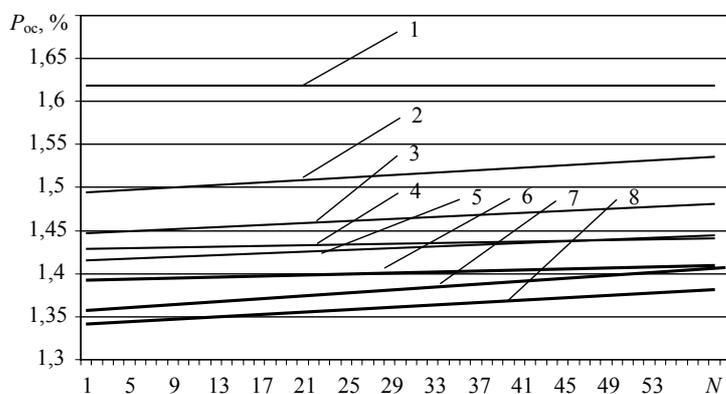


Рис. 5. Изменение осевой силы резания при сверлении:
1 — резание всухую; 2 — ТТС № 2; 3 — ТТС № 1; 4 — ТТС № 4;
5 — ТТС № 6; 6 — ТТС № 3; 7 — ТТС № 5; 8 — ТТС № 7

существенного изменения (не зависит от глубины обрабатываемого отверстия), в то время как суммарная осевая сила резания всегда закономерно возрастает по мере углубления сверла. Кроме того, суммарная осевая сила резания начинает увеличиваться значительно раньше соответствующего увеличения суммарного крутящего момента, т.е. суммарный крутящий момент гарантированно появляется после того, как заборная (коническая) часть сверла полностью вступила в работу. При одной и той же глубине отверстия (10 мм) видимая на осциллограмме нагрузка по суммарному крутящему

моменту и по суммарной осевой силе имеет протяженность, соответственно 17 и 22 единицы времени.

3. Применяя разработанный инструментарий, установлено, что наиболее эффективными составами ТТС, которые можно рекомендовать к дальнейшему исследованию и внедрению в производство, являются составы, содержащие диселенид молибдена, серу и серпентинит.

Литература

1. Пластины нового поколения. Мир станочника [Электронный ресурс]. — [www.mirstan.ru/ index.php?page=art_2](http://www.mirstan.ru/index.php?page=art_2). — 16.12.09.
2. Резание: технология, оснастка, инструмент / М.А. Прялин, В.М. Кульчев, М.Л. Урицкий и др.; под ред. М.А. Прялина. — Днепропетровск: Промінь, 1985. — 183 с.
3. Ларшин, В.П. Підвищення ефективності мастильно-охолоджувальних технологічних засобів / В.П. Ларшин, О.І. Бажанов, Н.В. Ліщенко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф., г. Одесса, 19-20 мая 2009 г., — К.: АТМ Украины, 2009. — С. 88—92.
4. Патент 2237704 Российская Федерация, МПК С10М129/02, С10М105/00, С10М125:26, С10N30:06. Антифрикционная противоизносная суспензия / Буяновский И.А., Гостев Ю.В., Дроздов Ю.Н., Заславский Р.Н., Новиков В.И.; заявитель и патентообладатель ООО “Венчур-Н”; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. — № 2003124124/04; заявл. 05.08.03; опубл. 10.10.04.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Усов А.В.

Поступила в редакцию 11 сентября 2009 г.