

# ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.9.026

*Д. У. АБДУЛГАЗИС, У.А. АБДУЛГАЗИС* д-р техн. наук,  
*Э. Э. ЯГЪЯЕВ* канд. техн. наук,  
*Ч. Ф. ЯКУБОВ* канд. техн. наук, Симферополь, Украина

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА В КАЧЕСТВЕ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ ПРИСАДКИ К МАСЛЯНЫМ СОТС

Обґрунтовується можливість підвищення охолоджувальної і мастильної здатності масляних СОТС при обробці металів різанням, шляхом використання активованого нанорозмірного вуглецю в якості модифікуючої присадки. Очікується поліпшення теплообміну в зоні різання і механічних характеристик різального інструменту.

Обосновывается возможность повышения охлаждающей и смазывающей способности масляных СОТС при обработке металлов резанием, путем использования активированного наноразмерного углерода в качестве модифицирующей присадки. Ожидается улучшение теплообмена в зоне резания и механических характеристик режущего инструмента.

The possibility of improving the cooling and lubricity of the oil coolants in metal cutting, through the use of activated nano-sized carbon as the modifying additive. Expected to improve heat transfer in the cutting zone and the mechanical characteristics of the cutting tool.

**Введение.** Наиболее распространенным способом отвода избыточного тепла из зоны резания является простое обмывание жидким (вода, растительное или минеральное масло) или газообразным (воздух, охлажденные инертные газы) охладителем, путем отвода тепла по классическим схемам физического процесса теплообмена и теплопередачи. Количественный эффект отвода тепла из зоны резания определяется в данном случае величиной теплоемкости воды, масла или воздуха и скоростью обтекания (временем пребывания в зоне резания) единичной порции охлаждающего материала. В общем виде динамика теплового потока при этом складывается из отбора тепла охладителем, как со стороны обрабатываемой детали, так и со стороны резца практически в равной мере. То есть, со стороны резца теплоотводящая способность охладителя используется только наполовину, поскольку вторая часть отбирается от обрабатываемой детали. С практической же точки зрения наибольшее значение имеет отвод тепла именно от

режущего инструмента, поскольку последний находится под постоянным воздействием квазистатического теплового потока и, одновременно, значительных динамических и субстатических механических напряжений в течение всего процесса резания. Обрабатываемая же деталь при этом характеризуется постоянным смещением зоны резания на участки с более низкой температурой и последующим рассеиванием тепла в окружающее пространство.

Другой особенностью традиционных способов охлаждения зоны резания, особенно жидкостью, воздухом или газами, является весьма короткое время контакта охладителя с зоной резания, составляющее доли секунды. За столь малый промежуток времени охладитель проявляет лишь незначительную часть своего потенциала теплоемкости. Это обстоятельство вынуждает резко увеличивать расход СОТС для приемлемого уровня отвода тепла из зоны резания, что в свою очередь существенно снижает эффективность и экономику процесса. При этом ухудшаются промсанитария и более активно проявляются коррозионные явления технологического оборудования.

В работах [1, 2, 3] для повышения теплоотводящей способности масляных СОТС предложено введение присадок обладающих энергоемким эндотермическим эффектом. Эндотермический эффект при этом вызывается дегидротацией кристаллогидратов (солей). Подобрана наиболее приемлемая кристаллогидратная присадка. Подобраны режимы сверления, при которых наиболее выражено проявляется эндотермический эффект. Рассмотрены особенности подачи к режущим кромкам сверла масляных СОТС с присадками обеспечивающими эндотермический эффект [4].

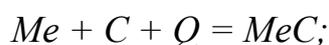
**Цель статьи** – концептуально показать возможность повышения охлаждающей и смазывающей способности масляных СОТС, при обработке металлов резанием, путем использования в качестве присадки активированного наноразмерного углерода.

**Изложение основного материала.** Изменить ситуацию в зоне резания к лучшему может использование в качестве присадки к масляной СОТС активированного наноразмерного углерода (угля), который:

- обладает активными восстановительными свойствами, предотвращая развитие окислительной гидроксидной и поляризационной коррозии на ювенильной поверхности металла и режущего инструмента, активно отбирая кислород от водорода и окисленного металла;
- находясь в формирующейся зоне разрыва кристаллической решетки металла с высоким теплоэнергетическим потенциалом и зоне последующего перехода в область проявления трибомеханических и механо-

химических процессов, углерод, не ухудшая смазывающую способность масла (СОТС), закрывает собой некомпенсированные связи решетки новообразованной поверхности. При этом снижается и степень термохимической и механохимической деструкции самого масла в контактной высоконагретой зоне;

- сам углерод обладает на порядок более высокой теплопроводностью (1,59 Вт/м·К) при более низкой массовой теплоемкости в сравнении с масляным СОТС и не снижает смазывающую способность последнего.
- под действием притока тепловой энергии в зоне углерод способен карбонизировать металлы с образованием карбидо-подобных наноструктурных слоев на ювенильной поверхности, забирающих на себя значительную часть тепловой энергии процесса резания металла по схеме:



Формированию карбидоподобных структур, на наш взгляд, благоприятствует возникновение при резании металлов, т.е. при разрушении кристаллической решетки, ювенильной поверхности с обилием некомпенсированных связей и их высокой реакционной способностью. В условиях возникновения при трении металлов точечных моментов с экстремальным давлением, углерод, оказавшийся между двумя активированными металлическими поверхностями способен проникать в дефекты кристаллической решетки металлов, образуя металлоподобные соединения с особой структурой [5].

Широко известно, что металлоподобные карбиды используются для упрочнения чугуна и стали (карбиды железа, хрома, вольфрама, молибдена), а также для производства очень твердых сплавов, которые применяют для обработки металлов резанием (карбиды WC, TiC, VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>). Очень важную роль играет карбид железа Fe<sub>3</sub>C (цементит) – твердые кристаллы, входящие в структуру чугуна и стали. В периодической системе, в пределах системной группы, температуры плавления карбидов возрастают с увеличением порядкового номера металла и обычно в 1,5-2 раза выше, чем температура плавления соответствующих металлов. Это обусловлено высокой прочностью связи Me-C. При этом металлоподобные карбиды обладают металлической теплопроводностью.

Таким образом, присутствие углерода в зоне резания может играть существенную роль в перераспределении тепловых потоков, сохранении структуры и состава масляной СОТС, а так же может способствовать упрочнению поверхности резца и обрабатываемой детали.

Углерод в процессах резания металлов, в составе масляной СОТС, может быть использован в виде графитовой модификации или в форме ак-

тивированного угля, радикально отличающихся друг от друга по своим термодинамическим и физико-химическим свойствам.

Графит широко используется в различных областях промышленности. В машиностроении графит используется в качестве добавки к смазочным материалам, в том числе к высоковязким и пластичным смазкам с добавлением графита. Но наиболее близким к рассматриваемым в статье проблемам, является его применение в качестве антифрикционного наполнителя консистентных смазок для смазывания цепей, канатов. Для притирки механических деталей используют масляный коллоидно-графитовый препарат в качестве присадки к моторным и трансмиссионным маслам автомобилей и тракторов. Особые преимущества дает использование присадки в зимних условиях, когда она существенно облегчает запуск двигателей. Графитную смазку изготавливают путем сгущения нефтяного масла кальциевым мылом и графитом.

Исключительные антифрикционные свойства графита обусловлены легкостью скольжения одного углеродного слоя относительно другого под действием малых сдвиговых напряжений в направлении базисных плоскостей. Коэффициент трения графита по металлам (для рабочих скоростей до 10 м/с) составляет 0,03-0,05. Для пирографита под действием напряжений в направлении, перпендикулярном базисным плоскостям, он составляет 0,4-0,5. Характерной особенностью искусственно полученного графита является его пористость (от 2-3% для пирографита до 80-85% для других видов графита), оказывающая существенное влияние практически на все свойства графита [6]. Последняя особенность графита - пористость может быть использована для получения модификаций углерода, в которых поры принудительно заполняются компонентами (например, вода и т.п.), обладающими высокими значениями теплоемкости и теплопроводности.

Для монокристаллов графита отношение значений теплопроводности в направлениях, параллельном и перпендикулярном базисным плоскостям (коэффициент анизотропии –  $\kappa$ ), может достигать 5 и более.

Наибольшей теплопроводностью (большей, чем у Cu) обладает рекристаллизованный графит с добавками карбидов Ti, Zr и др. Теплопроводность искусственно полученного поликристаллического графита сильно зависит от его плотности.

Графит обладает высокими значениями теплопроводности, которая равняется 3,55 Вт·град/см и занимает место между палладием и платиной. Коэффициент теплопроводности 0,041. Следует отметить, что у тонких графитовых нитей теплопроводность выше, чем у медных.

Внутри слоя связи между атомами ковалентные, образованы  $sp^2$ -гибридными орбиталями. Взаимодействие между слоями осуществляются ван-дер-ваальсовыми силами. Для природного графита межслоевое расстояние при нормальных условиях равно 0,3354 нм. Энергия связи между

слоями гексагонального графита составляет 16,75 Дж/моль (15°C), 15,1 Дж/моль (-134,15°C). Энергия связи С–С в слое 167,6 Дж/моль (1118°C).

Кристаллы графита пластинчатые, чешуйчатые. Образует листоватые и округлые радиально-лучистые агрегаты. Обладает низкой твёрдостью (1–2 по шкале Мооса) и плотностью 2,08–2,23 г/см<sup>3</sup> – неплавкий, весьма устойчив при нагревании в отсутствии воздуха, – жирный (скользкий) на ощупь. Природный графит содержит 10–12 % примесей глины и окислов железа. При трении расслаивается на отдельные чешуйки, что весьма положительно сказывается на его поведении в зоне резания и трения.

Наибольший интерес с точки зрения использования в качестве присадок к масляным СОТС представляют обожженные антифрикционные углеродные материалы, изготавливаемые из непрокаленного нефтяного кокса, каменноугольного пека с добавкой природного графита. Для получения плотного непроницаемого антифрикционного материала применяют пропитку его металлами. Таким методом получают антифрикционные материалы марок АГ-1500 83, АГ-1500СО5 АМГ-600Б83, АМГ-600СО5 и им подобные. Допустимая рабочая температура на воздухе и в газовых средах, содержащих кислород для АО – 250-300 °С, для АГ – 300 °С (в восстановительных и нейтральных средах 1500 и 2500 °С соответственно). Углеродные антифрикционные материалы химически стойки во многих агрессивных газовых и жидких средах.

Таблица 1 – Термодинамические и физические параметры графита [7]

Характеристика	Значение
Теплоемкость при постоянном давлении при 298,15 К, $C_p^o$	8,54 Дж/(моль·К)
Уравнение температурной зависимости, в пределах 288–4130°К	$C_p^o = a + bT - cT^2 - dT^3 - eT^5$
Энтальпия плавления, $\Delta H_{пл}^o$	104 кДж/(моль·К)
Энтальпия сгорания, $\Delta H_{сгор}^o$	395 кДж/(моль·К)
Энтальпия возгонки, $\Delta H_{возг}^o$	716,67 кДж/(моль·К)
Энтропия при 298,15°К	5,74 Дж/(моль·К)
Параметры уравнения температурной зависимости	$a=4,824$ $b=28,627*10^{-3}$ $c=3,250*10^5$ $d=13,712*10^{-6}$ $e=2,276*10^{-9}$
Теплопроводность в направлении базисных плоскостей пирографит ( $k=100-800$ )	475 – 2435 Вт/(м·К)

Активированный уголь (активный уголь, «карболен»), хотя также как и графит состоит из углерода, но характеризуется совершенно отличными от него свойствами. Скелет активированного угля состоит из непре-

вильно упакованных пачек из сеток шестичленных углеродных колец, менее упорядоченных, чем в графите, и ковалентно связанных с углеродными радикалами, с водородом, а также и с кислородом. Это зерненное и порошкообразное пористое углеродное вещество, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения: древесный уголь (марки активированного угля БАУ-А, ОУ-А, ДАК и др.), каменноугольный кокс (марки активированного угля АГ-3, АГ-5, АР и др.), нефтяной кокс, кокосовый уголь и др. Содержит огромное количество пор и поэтому имеет очень большую удельную поверхность на единицу массы, вследствие чего обладает высокой адсорбцией (1 грамм активированного угля в зависимости от технологии изготовления имеет удельную поверхность от 500 до 1500 м<sup>2</sup>).

По своим структурным характеристикам активные угли относятся к группе микрокристаллических разновидностей углерода – это графитовые кристаллиты, состоящие из плоскостей протяженностью 2-3 нм, которые в свою очередь образованы гексагональными кольцами. Однако типичная для графита ориентация отдельных плоскостей решетки относительно друг друга в активных углях нарушена – слои беспорядочно сдвинуты и не совпадают в направлении, перпендикулярном их плоскости. Кроме графитовых кристаллитов активные угли содержат от одной до двух третей аморфного углерода, а также и гетероатомы.

По нашей оценке функциональная роль активированного угля может быть направлена как на нейтрализацию активированных центров ювенильных поверхностей резца и обрабатываемой детали, в зоне резания так и связывания химически активных ионизированных гидроксидных групп и концевых углеводородных радикалов, деструктурированных под действием высокого термополя и трибоэффектов.

**Список использованных источников:** 1. Абдулгасис Д.У. Об одной возможности снижения температуры на лезвии резца / Д.У. Абдулгасис, Г.П. Подзноев // Высокие технологии в машиностроении: Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”, Харків. 2004. – Вип. 1 (8) – С 3–7. 2. Абдулгасис Д.У. Использование эндотермического эффекта дегидратации кристаллогидратов для повышения теплоотводящей способности СОТС на основе растительных масел // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – 2005. – Вип. 2 (11) – С. 3 – 8. 3. Абдулгасис Д.У. Композиционные СОТС на основе растительных масел для операций сверления / Д.У. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ” 2007. – Вып.73. – С. 3–8. 4. Абдулгасис Д. У. Особенности подачи к режущим кромкам сверла масляных СОТС с присадками обеспечивающими эндотермический эффект / Д.У. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2010. – Вып.78. – С 3–6. 5. Карбиды – соединения металлов и неметаллов с углеродом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.uglerod.info/karbit.php](http://www.uglerod.info/karbit.php). 6. Графит. Справочный материал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.nanoscopy.org/tutorial/graphite/graphite.html](http://www.nanoscopy.org/tutorial/graphite/graphite.html). 7. Химическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.xumuk.ru/encyklopedia](http://www.xumuk.ru/encyklopedia).