

Анализ влияния режущей жидкости на процесс глубокого измельчения с помощью шлифовального круга CBN

Ronaldo Yoshinobu Fuisse; Thiago Valle França; Rodrigo Eduardo Catai;
Leonardo Roberto da Silva; Paulo Roberto de Aguiar; Eduardo Carlos Bianchi

перевод Мосеров К.Н.

Применение режущей жидкости в процессе глубокого измельчения становится все более важным, главным образом там, где режущие жидкости используются в качестве «внешнего» агента для условий измельчения. Роль жидкости в шлифовальных работах заключается в охлаждении заготовки, удалении стружки, смазывании зоны измельчения, охлаждении и очистке колеса. Эффективность режущей жидкости будет зависеть в основном от типа жидкости, которая будет использоваться. В этой работе анализируются влияния типа режущей жидкости, используемой при глубоком шлифовании стали VC131 с использованием шлифовального круга CBN. Использовались три различных типа режущих жидкостей: растительная эмульсия, синтетический раствор и цельное масло. Переменными, проанализированными во время и после процесса измельчения, были шлифовальная сила, поверхностная шероховатость, акустическая эмиссия (EA), температура куска и отношение G (соотношение между объемом материала, удаляемого из куска, и отработанным объемом шлифовальный круг). Интегрированное масло показало наилучшую производительность по сравнению с следующими выходными переменными: EA, силой резания и отношением G. Растительная эмульсия была жидкостью, которая наилучшим образом рассеивала тепло из области резания.

1. Введение

Шлифование - это процесс механической обработки, используемый для достижения жесткого допуска (двухмерный допуск между IT4 и IT6 и совместимым геометрическим допуском) и уменьшенные значения шероховатости (Ra от 0,2 до 1,6 мкм) 2. Из-за большого числа переменных, измельчение является одним из самых сложных процессов обработки.

Поиск повышения производительности и качества в последние годы привел к большим успехам в процессах обработки. Такие улучшения происходят при обычных операциях, а также при упрощении производственной последовательности компонентов с обменом от промежуточных операций до отделочных операций.

В процессе шлифовки заготовка заготовка закрепляется на магнитной пластине, которая остается на столе шлифовального станка. Заготовка имеет продольное движение со скоростью v_w . Шлифовальный круг с

наружным диаметром d_s (мм) имеет скорость резания v_s и проникает в заготовку с глубиной (a) (схематично), показанной на фиг.1.

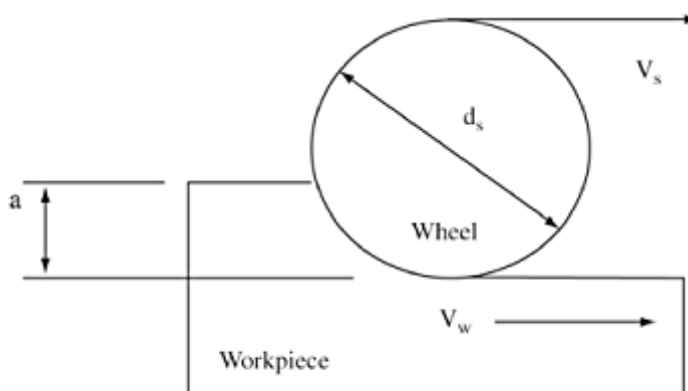


Figure 1. This figure shows the plunge grinding process.

Согласно Webster & Ciu10, использование жидкостей в процессах обработки становится еще более важным из-за более высоких скоростей удаления и улучшенных, более длительных шлифовальных кругов. Кроме того, надлежащее использование жидкости в зоне резания может быть столь же важным, как выбор спецификации шлифовального круга.

Режущие жидкости используются в качестве «внешнего агента» для условий обработки. Роли, которые играют жидкости при выполнении операций механической обработки, состоят в том, чтобы: охлаждать заготовки, удалять стружку, смазывать зону обработки, охлаждать и чистить шлифовальный круг, среди прочих. На рынке доступны самые разнообразные масла и режущие жидкости для различных процессов обработки, и на выбор могут влиять такие факторы, как вязкость, технические характеристики и стоимость, среди прочего.

В этой статье основное внимание уделяется анализу влияния типа режущей жидкости, используемой в операции шлифования, с высокой глубиной резания (глубина резания « a » 70 мкм) с суперабразивным шлифовальным кругом CBN (кубический борный нитрид) с остеклованной связью.

В этой работе будет фиксирован тип материала, подлежащего измельчению, давления текучей среды и расхода, условия механической обработки и шлифовального круга. Режущие жидкости могут различаться. Таким образом, мы попытаемся проверить влияние некоторых типов режущих жидкостей на поведение тангенциальной силы резания, на поверхностную шероховатость заготовки, на акустическую эмиссию (ЕА), на температуру и на коэффициент G (соотношение между объемом материал, извлеченный из куска, и объем, износившийся с шлифовального круга).

2. Библиографический обзор

2.1. Режущая жидкость

2.1.1. Классификация режущей жидкости

Каждый базовый тип режущей жидкости показывает особенности, преимущества и особые ограничения. Однако функции, отличающие разные классы, не всегда легко видны с небольшими отличиями в соответствии с их классификацией⁵. Согласно Runge & Duarte⁶ и ASM¹, срезающие жидкости могут быть сгруппированы в четыре основных типа:

- смазочные масла (цельное масло или эмульгированное);
- водорастворимые жидкости для резки;
- обычные эмульгируемые;
- полусинтетический эмульгируемый;
- растворы (синтетические жидкости);
- газов и паст.

2.1.2. Функции режущей жидкости в процессе шлифования

Чтобы быть эффективными, режущая жидкость должна не только обеспечивать хорошее охлаждение заготовки конвекцией, но она должна хорошо работать на механизме формирования стружки, способствуя вырезанию (образование стружки) вместо того, чтобы производить пластическую деформацию без удаления материала (вспашка). В результате достигается сокращение требуемой удельной энергии измельчения для процесса обработки⁴.

В таблице 1 приведены некоторые характеристики наиболее распространенных режущих жидкостей для процессов обработки в промышленности. Согласно Diniz et al.², жидкости на водной основе имеют два значимых недостатка: низкое содержание смазки и более легкое продвижение окисления в заготовках и машинах. Однако масла интегралов, по-видимому, обеспечивают лучшую смазывающую способность, чем жидкости на водной основе (растворы и эмульсии).

3. Материалы и методы

3.1. Типы используемых режущих жидкостей

Будут использоваться три типа жидкостей: растительная эмульсия, синтетический раствор и цельное масло. Контуры каждого типа жидкости ниже.

CutMaxCF 10: интегральное масло, свободное от хлора. Его основное содержание: парафиновое минеральное масло, жир, присадка с экстремальным давлением и антиокислитель.

Nocut 4110: Формирующий раствор синтетической режущей жидкости.

Nocut 2010: Водорастворимая режущая жидкость, биологически разлагаемая, растительная эмульсия, из которых основное содержание:

растительное масло, свободное от минерального масла, нитритов, тяжелых металлов и фенольных соединений.

Водорастворимые режущие жидкости были приготовлены с концентрацией 5% и измерение pH было проведено до начала каждого испытания. Все жидкости для резки показали уровни pH между 7,2 и 10,8.

3.2. Тип применяемого шлифовального круга

Использовался суперабразивный шлифовальный круг CBN B76R125V12 с диаметром оцинкованной стали шириной 350 мм и шириной 20 мм. Операция истирания выполнялась с помощью устройства истирания, закрепленного на столе машины, размещенного в горизонтальном положении под шлифовальным кругом, выровненным с центром тяжести. По мере того как шлифовальное колесо работает, поперечное прямолинейное движение выполнялось относительно шлифовального круга, чтобы удалить нерегулярный слой дорожного покрытия, таким образом создавая новые углы для каждой предлагаемой тестовой характеристики.

3.3. Заготовка

Образцы были изготовлены из закаленной стали VC 131 и повторно закалены с твердостью приблизительно 60 HRC. Образцы приблизительных размеров имели длину 200 мм, высоту 20 мм и толщину 5 мм. Для фиксации термпары были сделаны три отверстия диаметром 2 мм на расстоянии 5 мм друг от друга.

3.4. Условия обработки

- Условия обработки, установленные для испытаний, включают:
- Расход жидкости = 10 л / мин;
- Скорость шлифовального круга = $V_s = 65$ м / с;
- Скорость таблицы = $V_w = 0,04$ м / с;
- Оптимизированное сопло с выходным диаметром жидкости = 8 мм;
- «а» - глубина разреза = 70 мкм;
- h_{eq} - эквивалентная толщина разреза = 0,1 мкм.

Первоначально заготовка была закреплена на столе шлифовального станка согласно рисунку 2, а затем были установлены все условия обработки (скорость резания, скорость стола и проникновение шлифовального круга в заготовку).

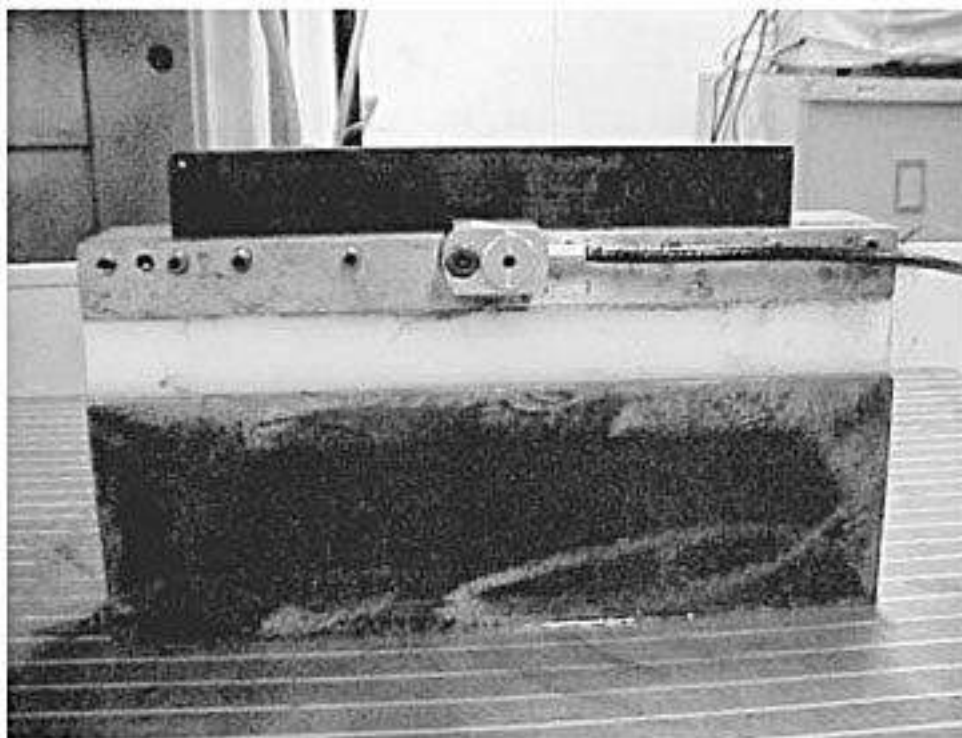


Figure 2. Fixing the workpiece on the plane grinding table.

Затем проводились испытания, измеряя силу резания, ЭА и температуру в реальном времени. Диаметрический износ шлифовального круга был отмечен на заготовке в конце каждого испытания, а шероховатость измерялась каждые 25 ходов шлифовального круга.

3.4. Термопары, закрепленные на заготовке

Термопары фиксировались на заготовке с помощью мгновенного клея; только кончики были приклеены к заготовке. Концы термопары были прикреплены посредством припоя, выполненного с использованием ацетиленового пламени.

Термопары были подключены к пластине А / D, где можно было наблюдать температуру в реальном времени с помощью цифрового дисплея.

3.5. Датчик акустической эмиссии

Для получения акустической эмиссии в реальном времени с использованием оборудования Sensis Manufacturer использовалась модель BM12, и датчик был закреплен рядом с корпусом.

3.6. Измерение поверхностной шероховатости

Поверхностную шероховатость заготовки параметра Ra проводили каждые 25 шлифовальных колес, используя инструмент измерения шероховатости TAYLOR HOBSON, модель Surtronic 3+. Измерения проводились в трех разных положениях от заготовки (стороны и центр) и

трех последовательных раз в каждой позиции. Количество удаляемого материала составляло 25 мкм.

3,7. Измерение коэффициента G

В конце каждого испытания шлифовальный круг был отмечен на заготовке, закрепленной на шлифовальном столе, таким образом, чтобы оставаться перпендикулярным к поверхности шлифовального круга. С помощью электронного измерителя перемещения - TESLA; модель TT10 с точностью 1 мм, выполнены три измерения износа шлифовального круга и в областях сторон. G, которое выражает характеристики шлифовального круга, было получено путем деления объема удаляемого материала на объем изношенного шлифовального круга.

3,8. Режущая тангенциальная сила

Для тангенциальной силы резания измерение в реальном времени выполнялось посредством вращения n шлифовального круга и электрической мощности P_c , проводимой приводным двигателем абразивного инструмента, во время среза. В этой связи была использована схема кондиционирования сигналов, которая позволяет получать и преобразовывать значения от электрического тока, электрического натяжения и вращения двигателя в сигналы совместимого электрического натяжения для отправки в систему сбора данных (плата A / D). Используя программное обеспечение для сбора данных LabVIEW, ранее определенные калибровочные уравнения, а также значения натяжения считывались с пластины сбора данных, тогда тангенциальная сила F_{tc} резания была рассчитана с использованием уравнения 1, с d_s в качестве диаметра шлифовального круга:

$$F_{tc} = 60 \times P_c / (2 \times 3.1415 \times n \times d_s) \quad (1)$$

3,8. Начальные параметры

3.8.1. Тип используемого сопла

Оптимизированный наконечник с соплом диаметром 8 мм был использован, как показано на фиг.3, чтобы показать лучшее заданное значение скорости потока.

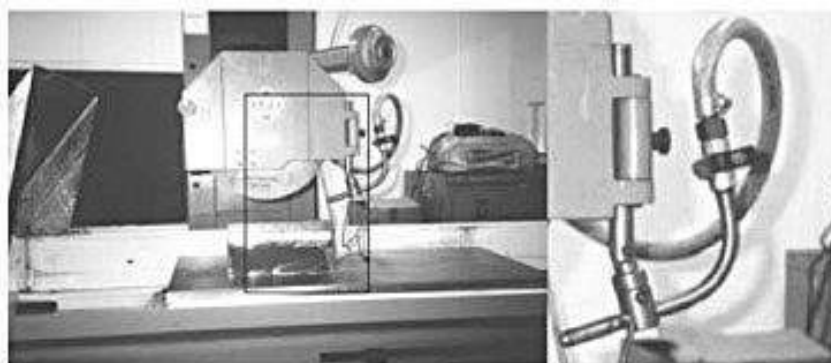


Figure 3. Nozzle used.

4. Результаты и обсуждение

Для каждой из испытываемых жидкостей были получены результаты для следующих выходных переменных: шероховатость, результирующая тангенциальная сила, акустическая эмиссия, температура и отношение G.

Для силы резания и ЭА среднее значение было рассчитано для каждого перемещения шлифовального круга. Были выбраны две точки, обозначающие начало и конец шлифования заготовки. Выбор точек был сделан вручную, поскольку сбор данных производился только по отношению к смещению стола (несовместимое перемещение между заготовкой и шлифовальным кругом), и полученные данные не происходили с равными интервалами времени. Когда таблица вернулась к противоположному движению, компьютерная программа была остановлена, и продвижение на 70 мм было сделано для нового перемещения шлифовального круга.

4.1. Результаты средней поверхностной шероховатости

Шероховатость была получена после перемещения 25 шлифовального круга, где выполнялись три измерения на границе и в середине заготовки. Затем вычислялась средняя шероховатость вдоль заготовки в зависимости от количества ходов. На рисунке 4 показана шероховатость испытываемых жидкостей.

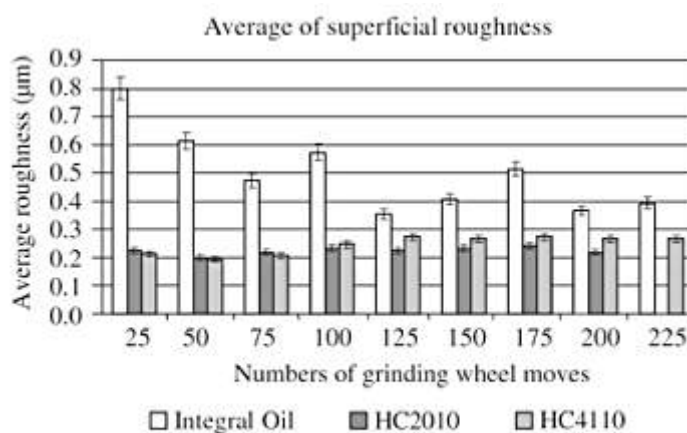


Figure 4. Comparative results for the average roughness.

Анализируя растворимые жидкости HC 2010 (растительная эмульсия), HC 4110 (синтетический раствор), можно заметить, что оба имеют сходное поведение по отношению к шероховатости (Ra) без существенных различий. Все это в зависимости от неприменения унитарного отношения (когда скорость движения жидкости равно периферийной скорости шлифовального круга) из-за технических ограничений, требований давления и расхода. В этих случаях не удалось эффективно преодолеть воздушный барьер, вызванный вращением шлифовального круга, который можно было заменить, приняв унитарное соотношение между скоростями, как это было отмечено Webster (1995, 1999), для правильного применения жидкостей.

Для интегрального масла была получена более высокая шероховатость (R_a) по отношению к другим жидкостям из-за того, что его наивысшая вязкость требует минимального расхода рабочей силы, чтобы гарантировать надлежащую смазку. Согласно Webster (1999), существует критическая скорость потока, которую можно определить как определяемую скорость выпуска струи, где выше этого значения могут быть улучшены конечные свойства наземных заготовок.

Поэтому жидкости, которые показали самую низкую шероховатость, были водорастворимыми: растительная эмульсия и синтетический раствор.

4.2. Результаты акустической эмиссии

Согласно Soares & Oliveira (2002), акустическая эмиссия (EA) характеризуется волнами растяжения, вызванными внезапным движением напряженных материалов, а классические выбросы исходят из процессов деформации, таких как растрескивание и пластические деформации. Эти внезапные движения создают напряженность, которая диффундирует через материал по физическим окружениям, пока не достигнет датчика EA, а наиболее используемым соплом для фиксации датчиков являются контрапункт, куб или ось шлифовального круга, или даже трубка режущей жидкости. Это наиболее эффективный метод получения стоимости; датчик принимает электрические сигналы высокой частоты и остается свободным от шумов от источников, внешних по отношению к процессу.

Анализируя фиг.5, где показано сравнение значений акустической эмиссии для испытуемых жидкостей, можно заметить, что интегральное масло было жидкостью, показывающей самые высокие значения и наибольшее изменение температуры для акустической эмиссии в связи с тем, что ее наивысшая вязкость требует минимальный расход рабочей силы, чтобы гарантировать надлежащую смазку. Анализируя растительную эмульсию и синтетический раствор, можно заметить, что оба они имеют сходное поведение по отношению к акустической эмиссии без существенных различий. Все это в зависимости от неприменения унитарного отношения.

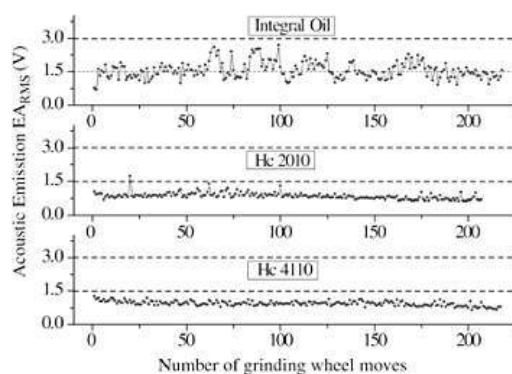


Figure 5. EA comparative results for the fluids.

4.3. Результаты для касательной силы резания

На рисунке 6 показано сравнение полученных значений для касательной силы резания.

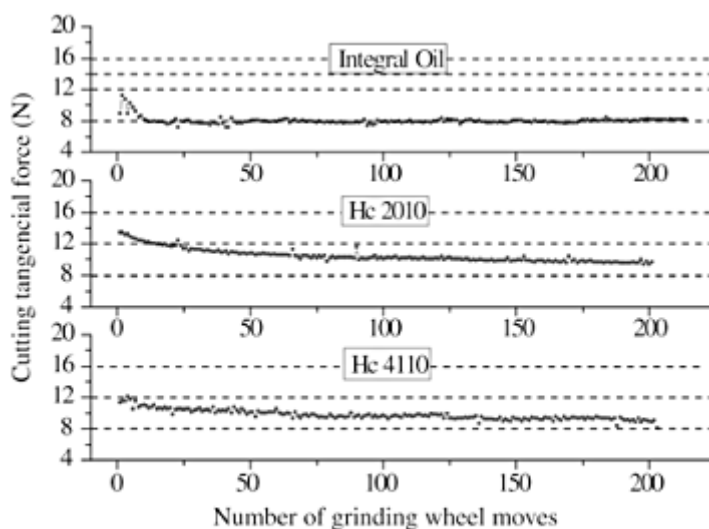


Figure 6. Tangential force comparative results.

Растворимые жидкости вырабатывают значения силы резания менее стабильны, чем интегральное масло. Растительная эмульсия была инициализирована с большей силой резания, но была более стабильной, чем синтетический раствор в течение испытания. Синтетический раствор проявил большую нестабильность во время процесса.

Интегрированное масло показало более стабильное поведение для силы резания, поскольку количество перемещений увеличилось по сравнению с другими испытанными жидкостями. Он также показал более низкую режущую способность на протяжении всего процесса. Это объясняется более высокой смазывающей способностью этого интегрального масла по сравнению с другими испытанными. Интегрированное масло превращает шлифовальный круг более резким, препятствуя преждевременному износу абразивных зерен, уменьшая коэффициент трения зернистости заготовки. Таким образом, он обеспечивает более плавный срез, уменьшая рассеиваемую энергию, как только разрез облегчается (Hitchiner, 1990).

4.4. Результаты для температуры

На рисунках 7, 8, 9 показаны температуры для трех используемых термопар.

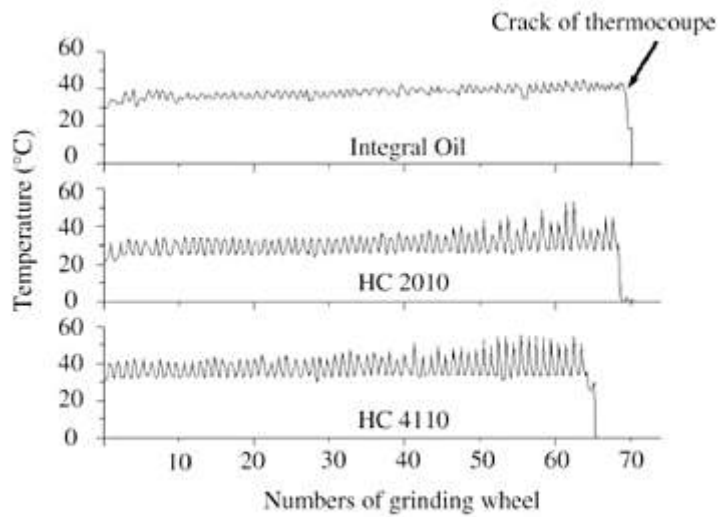


Figure 7. Comparative results of temperatures for the 1st thermocouple.

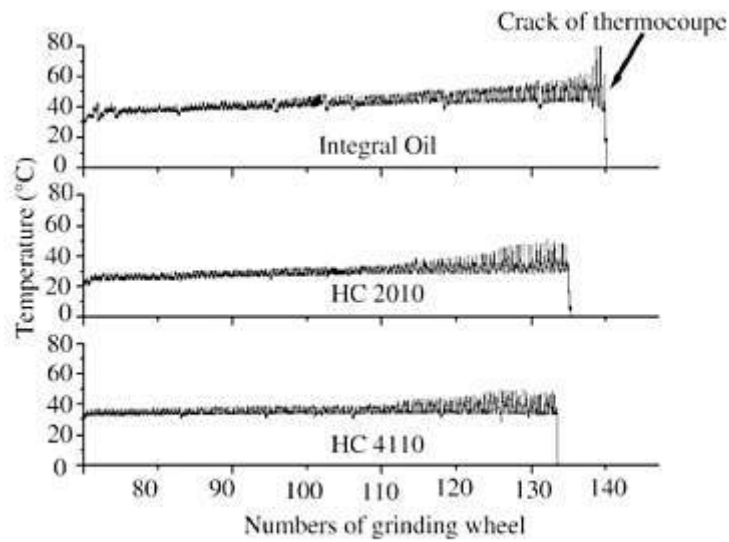


Figure 8. Comparative results of temperatures for the 2nd thermocouple.

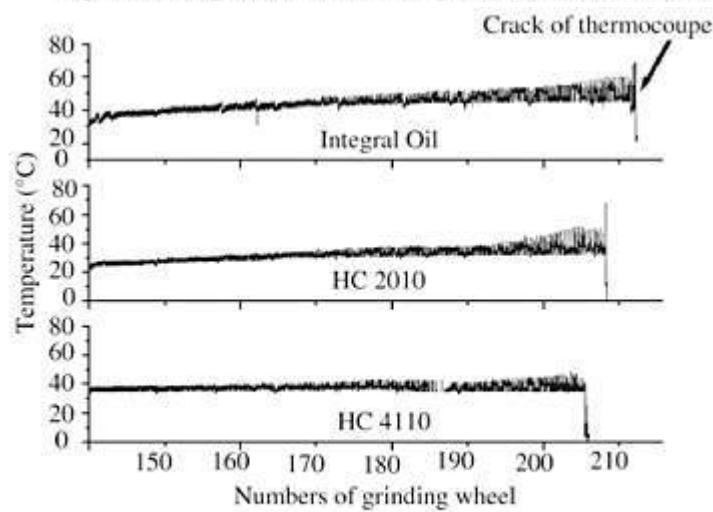


Figure 9. Comparative results of temperatures for the 3rd thermocouple.

Нарушение первой термопары произошло примерно на 70-м ходу после измельчения 5 мм от материала. 2-я термопара, пробитая на 140-м

шлифовальном круге, и 3-я на 210-м ходу, как после шлифования 5 мм от заготовки. Это нарушение можно увидеть на всех термопарах каждый раз, когда происходит резкое падение температуры.

Аналогичное поведение при разрушении при резке флюидов также наблюдается, как только он становится рядом с нарушением термопары (после 5 мм удаляемого материала), температура начинает расти, и только когда прорывается термопара, происходит резкое падение температуры.

Интегрированное масло показало более высокие значения температур для всех трех термопар из-за его низкой удельной теплоемкости, что свидетельствует о его низкой эффективности при рассеивании тепла.

Растительная эмульсия, которая представляет собой состав растительного масла без минерального масла, нитрита, тяжелых металлов и фенольных соединений, показала более низкие значения температур в отношении синтетического раствора (масла, разбавленного в воде) для всех термопар из-за характеристик влажности, то есть растительная эмульсия не имеет масла и, следовательно, ее холодопроизводительность высока, что приводит к более низким значениям температур. Таким образом, можно сделать вывод о том, что растительная эмульсия представила наилучшие показатели теплоотдачи.

4.5. Результаты для коэффициента G

На рисунке 10 показано сравнение значений отношения G для испытуемых режущих жидкостей.

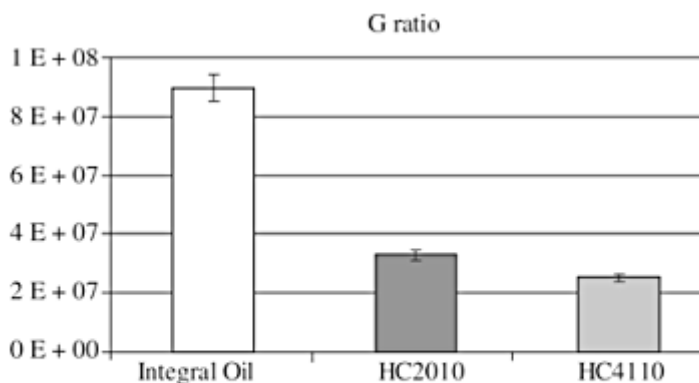


Figure 10. Comparative results for G ratio.

Наибольшие значения для отношения G были получены для интегрального масла. Это может быть объяснено более высокой смазывающей способностью этой жидкости по сравнению с другими испытанными жидкостями. Эти результаты были также обнаружены Carius (1989) apud Webster8, где в большинстве случаев радиальный износ шлифовального круга снижается благодаря интегральному использованию масла. Растительная эмульсия и синтетический раствор показали сходное

поведение по отношению к радиальному износу шлифовального круга; однако небольшая разница между этими жидкостями может быть проверена со значительными различиями. Растительная эмульсия показала более высокое отношение G , чем синтетический раствор, другими словами, меньшее значение радиального износа шлифовального круга в зависимости от неприменения унитарного соотношения для правильного применения жидкостей.

5. Выводы

Анализ результатов, полученных для процесса плоского шлифования с высокой глубиной резания, «а», путем цикла обработки (резка шлифовального круга на обрабатываемой детали), дает следующие выводы:

Среди испытываемых режущих жидкостей интегральное масло показало лучшие характеристики по отношению к следующим выходным переменным: режущая тангенциальная сила и коэффициент G , в основном благодаря своей большой смазывающей способности. Растительная эмульсия была режущей жидкостью, которая наилучшим образом рассеивала тепло из области резания, доказывая ее большую мощность охлаждения. Что касается поверхностной шероховатости, растительная эмульсия и синтетический раствор демонстрировали сходное поведение и оба лучше, чем интегральное масло. Однако, согласно Webster (1995), шероховатость и акустическое излучение могут быть уменьшены для интегрального масла за счет увеличения скорости и давления жидкости в области резания. Однако в этом исследовании технические ограничения не позволили нам проверить эту теорию. Важно подчеркнуть, что отношение G в тестируемых жидкостях было высоким из-за небольшого износа шлифовального круга CBN относительно объема удаляемого материала.

Список литературы:

1. ASM International Handbook Committee, *Metals Handbook*, ed. 6, cap. 27, p. 14-20, May, 1991.
2. Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L. *Technology of the machining of the materials*, Second Edition, Artiber Publisher Limited, p. 165, Campinas, Brasil, 2000.
3. Hitchiner, M.P. Precision Grinding Systems for Production Grinding with Vitriified CBN, *SME Technical Paper MR90-507*, p. 1-11, 1990.
4. Malkin, S. Grinding Mechanisms e Grinding Temperatures and Thermal Damage, In: MALKIN, S., *Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives*, Chichester, Ellis Horwood Limited, cap. 5 e 6, ed. 1, p. 108-171, 1989.

5. Motta, M.F., Machado, A.R. Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção, *Revista Máquinas e Metais*, Setembro, p. 44-56, 1995.
6. Runge, P.R.F., Duarte, G.N. Lubrificantes nas indústrias Produção, manutenção e controle Triboconcept *Edições Técnicas*, p. 71-171, 1990.
7. Soares, D.D., Oliveira, J.F.G. Diagnóstico do processo de retificação pela análise dos sinais, *Revista Máquinas e Metais*, Ano XXXVIII, n. 436, p. 140-157, Maio, 2002.
8. Webster, J. Selection of coolant type and application technique in grinding, *Supergrind*, p. 205-218, 1995.
9. Webster, J. Optimizing coolant application systems for high producing grinding, *Abrasives Magazine*, p. 3441 Oct. /Nov., 1999.
10. Webster, J.; CIU, C. Flow Rate and Jet Velocity Determination for Design of a Grinding Cooling System, *Presented at 1st International Machining e Grinding conference*, Dearborn, p.12-14, MI, September, 1995