

УДК 621.9.01

Канд. техн. наук В. В. Цыганов*Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье*

ВЛИЯНИЕ МАКРОРАДИКАЛОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ ЛЕНТАМИ ИЗ ГРАНУЛИРОВАННОГО АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрены результаты исследований обработки шлифовальными лентами из гранулированного абразивного материала. Показана связь показателей абразивной обработки и структурного состояния обработанного поверхностного слоя. Предложен механизм влияния свободных макрорадикалов, образующихся при деструкции полимерной связки гранул, на эффективность шлифования.

Ключевые слова: *гранулированный материал, поверхностный слой, шлифование, макрорадикалы.*

Использование в машиностроении деталей с высоким качеством поверхности требует применения при их изготовлении эффективных методов финишной обработки. Для этого постоянно проводятся исследования по разработке новых абразивных материалов, инструментов и оптимизации условий их эксплуатации. В настоящее время, одним из наиболее перспективных направлений чистового шлифования и полирования металлов является использование сферического гранулированного абразивного материала, как в свободном виде, так и в качестве составной части абразивного инструмента.

Режущая способность гранулированного материала и его воздействие на обработанный поверхностный слой существенно зависят не только от характеристики применяемого абразивного зерна, но и от размера гранул, плотности покрытия поверхности зернами, физико-химических свойств связующего вещества. В зависимости от способа изготовления гранулы могут быть: сплошные, полые, с порами. При этом, в качестве связки целесообразно применение термопластичного полимера, что позволяет изменять жесткость гранул при различных условиях полимеризации [1].

Кроме того, в процессе обработки обеспечивается повышенное разрушение металлов в результате взаимодействия с обрабатываемой поверхностью свободных макрорадикалов, которые образуются в результате термомеханического разрушения полимера — его деструкции. Повышение площади контакта связки гранулированного материала с обрабатываемой поверхностью сопровождается уменьшением усилия микрорезания абразивных зерен. Механически деструктируемые полимеры активируют разрушение частиц металла так же, как и низкомолекулярные поверхностно-активные вещества. Чем ниже энергия активации деструкции полимера, тем выше степень разрушения металла.

Модель разрушения: а) механическая деструкция полимерных цепей, образование макрорадикалов; б) адсорбция макрорадикалов на ювенильной поверхности металла; в) пластифицирование, охрупчивание и разрушение металла. При адсорбции макрорадикалов на ювенильных поверхностях деформированного активного металла поверхностная энергия металла уменьшается. В связи с этим в поверхностных слоях металла создаются благоприятные условия для пластифицирования — движения, зарождения и взаимодействия дислокаций. Резкое увеличение плотности несовершенств охрупчивает металл [2].

Механическая деструкция полимерной связки гранулированного абразивного материала начинается, когда в процессе резания механические напряжения от усилий трения связующего материала гранул с обрабатываемой поверхностью превышают энергию связей атомов в полимере. Происходит разрыв макромолекулы в поле механических сил с возникновением свободной пары макрорадикалов, способных взаимодействовать с поверхностью металла. Как известно, с физической точки зрения, поверхность металлов представляет собой атомную плоскость с незавершенной кристаллической решеткой, что приводит к высокой сорбционной активности поверхностного слоя.

Поэтому, в качестве связки гранулированного абразивного материала, наиболее целесообразно применение полиметилметакрилата (ПММА). Он один из немногих распространенных полимеров, который полностью распадается до мономера. У других полимеров выход мономера варьируется от нуля до значительной доли в общем выходе летучих продуктов.

Необходимо учитывать, что большая концентрация свободных макрорадикалов достигается при механической деструкции полимеров с ма-

лой энергией активации. Широко применяемая в абразивной промышленности в качестве связующего материала инструментов феноло-формальдегидная смола обладает трехмерной структурой, поэтому энергия активации деструкции у нее выше, чем, например, у полиэтилена – полимера линейной структуры и, тем более, у ПММА. Энергия активации полиэтилена 60–70 ккал/моль, ПММА – 27 ккал/моль. Однако ПММА не используется в виде связки серийных абразивных инструментов, что ограничивает возможность оценки влияния свободных макрорадикалов на эффективность финишной абразивной обработки.

Таким образом, в процессе чистового шлифования и полирования рассматриваемым гранулированным абразивным материалом создаются благоприятные условия для обеспечения взаимодействия свободных макрорадикалов с обработанной поверхностью. Достигается это возможностью применения в качестве связки гранул ПММА и увеличением площади контакта полимера с поверхностью заготовки, что обеспечивается сплошными гранулами с минимальным количеством пор. Кроме того, появляется возможность регулирования количества образующихся в зоне резания макрорадикалов не только изменением свойств ПММА при изготовлении гранул, но и величиной деструкции полимера в результате изменения условий трения в контакте инструмента и заготовки.

Для проверки представленных положений были изготовлены опытные шлифовальные ленты размером 65×1900 мм на тканевой водостойкой основе с использованием гранулированного абразивного материала, полученного методом радикальной суспензионной полимеризации метилметакрилата. Средний диаметр гранул 400 мкм с покрытием из абразивных зерен 14А8П. Оценка эффективности применения опытных шлифовальных лент, в сравнении с обработкой серийными лентами 14А8П, производили при шлифовании плоских образцов нержавеющей стали 10Х14АГ15 без СОЖ и с подачей в зону резания 5 % водоземulsionной СОЖ на основе сернохлорированного эмульсола «ШП» (содержание присадок хлора – 7,0 %, серы – 0,8 %). Прижатие ленты к поверхности заготовки при шлифовании осуществляли через контактный вал диаметром 163 мм с резиновым покрытием без нарезки толщиной 6 мм, твердостью 70 ед. по Шору. Производительность обработки определяли в пересчете на длину заготовки 1000 мм. Режимы шлифования: $V = 22,7$ м/с; $P_y = 7$ Н/см; $S = 10$ м/мин.

Как следует из приведенных на рисунке 1 зависимостей, шлифование серийными лентами характеризуется быстрым падением режущей способности за первые минуты эксплуатации. Отличительной особенностью обработки лентами из

гранулированного абразивного материала является увеличение производительности резания в течение первых 10 минут шлифования (рис. 1, а). Происходит это, вероятно, в результате увеличения числа режущих зерен по мере износа сферической поверхности гранул. В последующем, число режущих зерен стабилизируется и наблюдается постепенное падение режущей способности лент в течение машинного времени шлифования. При этом, характер кривой изменения шероховатости поверхности обработанной опытными и обычными лентами подобен (рис. 1, б).

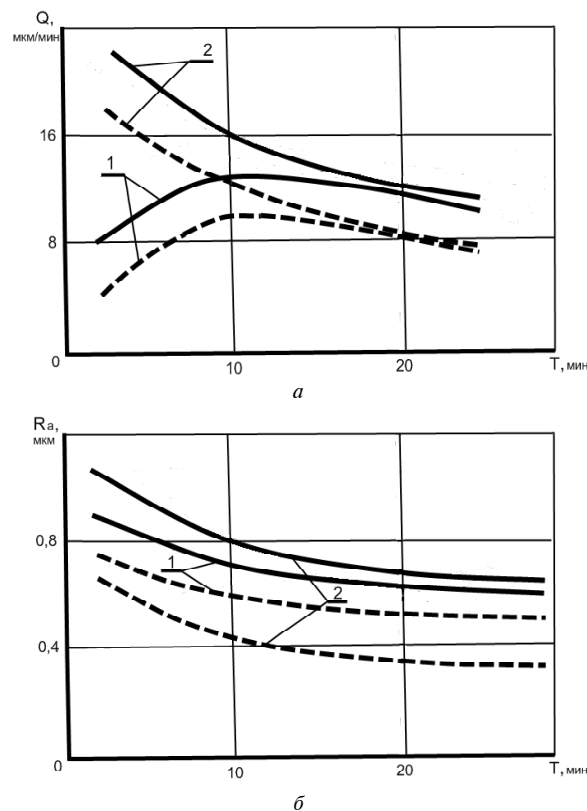


Рис. 1. Изменение производительности шлифования (а) и шероховатости обработанной поверхности (б) в течение машинного времени обработки (сплошная линия – обработка без СОЖ; прерывистая линия – обработка с подачей СОЖ)
1 – лента из гранулированного абразивного материала;
2 – лента серийная

Отмеченный характер изменения режущей способности опытных и серийных абразивных лент происходит в процессе обработки, как с подачей в зону резания водоземulsionной СОЖ, так и без СОЖ. Однако величина изменения производительности шлифования и шероховатости обработанной поверхности указывают на неоднозначное влияние химико-физических свойств гранул на эффективность обработки. Так, шлифование без подачи СОЖ лентами из гранулированного абразивного материала, в сравнении с обработкой серийными лентами, приводит к сниже-

нию шероховатости обработанной поверхности в среднем на 10 %. Это может быть результатом смазывающего действия метилметакрилата.

Тем не менее, при обработке с подачей водоэмульсионной СОЖ наблюдается обратная зависимость. Шлифование опытными лентами сопровождается увеличением шероховатости обработанной поверхности, в сравнении с обработкой серийными лентами, в среднем на 30 % (рис. 1, б). Так как величина шероховатости обработанной поверхности при определенных условиях может служить мерой оценки изменения режущей способности абразивного инструмента, можно ожидать и повышения при этом производительности шлифования. Учитывая, что характер кривых зависимости производительности шлифования от машинного времени обработки опытными и серийными лентами существенно отличаются, произвести их сравнительную оценку сложно. Однако в среднем меньшее падение производительности шлифования при обработке с подачей водоэмульсионной СОЖ исследуемыми лентами (соответственно на 3 мкм/мин и 4 мкм/мин) указывает на различное влияние СОЖ на эффективность резания (рис. 1, а).

Таким образом, проведенный анализ показывает на отличие сравнительных эксплуатационных показателей шлифования лентами из гранулированного абразивного материала и серийными лентами при обработке без СОЖ и с подачей СОЖ в зону резания. Можно предположить, что причина этого явления состоит в наличии свободных радикалов в зоне контакта гранулированного абразивного материала и обрабатываемой поверхности. Причем мера их воздействия более существенна при обработке в среде используемой водоэмульсионной СОЖ.

Для определения степени этих изменений необходимо решение комплексной задачи с оценкой состояния обработанного поверхностного слоя. Известно, что существует корреляция между однородностью структурного состояния поверхностного слоя и его обрабатываемостью, шероховатостью обработанной поверхности. Предварительно проведенные исследования показывают, что низкая шероховатость нержавеющей стали может быть получена при ленточном шлифовании путем изменения условий обработки таким образом, чтобы возникали вторичные структуры обработанного поверхностного слоя с высокой однородностью прочностных свойств на возможных малых интервалах [3]. Изменяя величину и прочность получаемых фрагментов поверхностного слоя можно регулировать приработку деталей в условиях фрикционно-контактного взаимодействия.

В данной работе для оценки структурного состояния поверхностного слоя обработанных об-

разцов применяли один из наиболее информативных методов – трибоспектральный (деформационно-спектральный). Метод основан на определении статистических связей между сопротивлением локальных микрообъемов материала контактному деформированию при сканировании поверхности алмазным индентором. При микромеханических испытаниях сила трения алмазного индентора модулируется с частотой расположения фрагментов определенной прочности, характеризуется амплитудно-частотными характеристиками вследствие изменения прочности на границе и внутри локальных областей. По изменению силы трения и нормальной нагрузки рассчитывается комплекс статистических деформационно-спектральных характеристик, отражающих состояние поверхностного слоя [4].

Образцы сканировали и обрабатывали по специально разработанным программам на трибometре типа ПИТ-ЦВМ производства НАУ. Нагрузка на индентор составляла 3,5 Н, скорость сканирования 26,5 мкм/с.

На рисунке 2 представлены графики спектральной плотности S тангенциальной составляющей силы контактного деформирования при сканировании образцов после обработки опытными и серийными лентами. Как видно, наблюдается резкое отличие прочностных и деформационных характеристик поверхностных слоев после шлифования в среде водоэмульсионной СОЖ (рис. 2, а). Так, обработка лентами из гранулированного абразивного материала после 10 минут (кривая 1) и 30 минут (кривая 3) обеспечивает равнопрочный поверхностный слой с низкой прочностью фрагментов (спектральная плотность не более $0,03 \times 10^{-3} \text{ Н}^2/\text{Гц}$). После шлифования лентами 14А8П в течение 10 минут (кривая 2) и 30 минут (кривая 4) получен неоднородный поверхностный слой с наличием фрагментов различной величины и прочности (спектральная плотность составляет от $0,05 \times 10^{-3} \text{ Н}^2/\text{Гц}$ до $0,48 \times 10^{-3} \text{ Н}^2/\text{Гц}$).

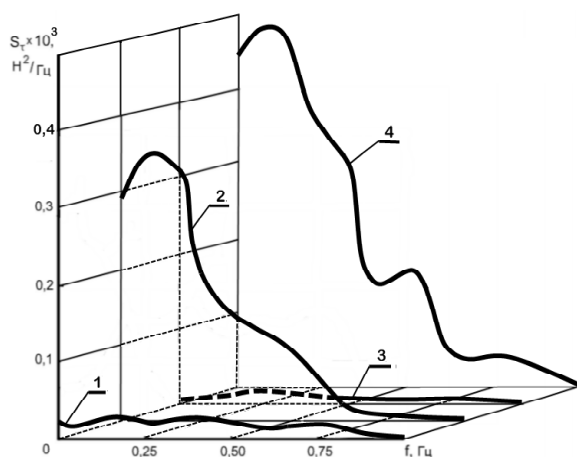
Обработка без смазочно-охлаждающей жидкости приводит к близким по прочности поверхностным слоям (рис. 2, б). При этом, по мере шлифования гранульными лентами обеспечивается переход от сравнительно равнопрочного поверхностного слоя к крупнофрагментному, а обработка серийными лентами 14А8П способствует изменению поверхностного слоя от неоднородного до равнопрочного.

Так, после 10 минут шлифования лентами из гранулированного абразивного материала получен поверхностный слой с фрагментацией на частотах 0...0,20 Гц; 0,2...00,50 Гц и 0,70...0,85 Гц. Спектральная плотность изменилась от $0,07 \times 10^{-4}$ до $0,28 \times 10^{-4} \text{ Н}^2/\text{Гц}$ (кривая 5). За то же время обработки лентами 14А8П получается поверхност-

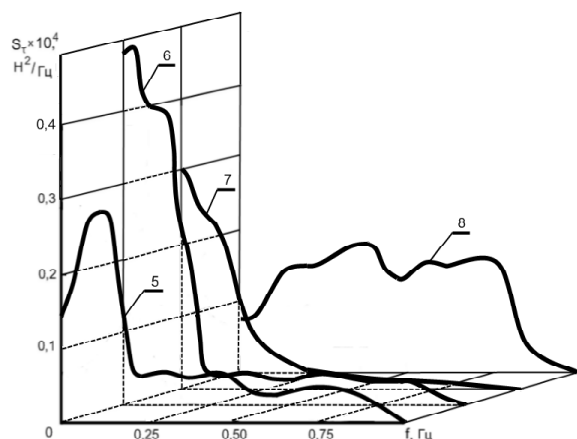
ный слой, содержащий фрагменты близкие по величине. Однако спектральная плотность при этом составила от $0,07 \times 10^{-4} \text{ Н}^2/\text{Гц}$ до $0,5 \times 10^{-4} \text{ Н}^2/\text{Гц}$ (кривая 6). После 30 минут шлифования гранульными лентами поверхностный слой стал крупнофрагментным с фрагментацией на частоте $0 \dots 0,20 \text{ Гц}$ (кривая 7), а лентами 14А8П – равнопрочным с крупными и мелкими фрагментами средней спектральной плотностью $0,13 \times 10^{-4} \text{ Н}^2/\text{Гц}$ (кривая 8).

Таким образом, обработка лентами из гранулированного абразивного материала обеспечивает получение равнопрочного поверхностного слоя в среде водной эмульсии и крупнофрагментного слоя при шлифовании без подачи СОЖ. Причем, равнопрочный поверхностный слой образуется в

течение всего времени обработки гранульными лентами в среде СОЖ. Как следует из графиков спектральной плотности рисунка 3, полученный после 2 минут шлифования (кривая 1) равнопрочный поверхностный слой не изменяется существенно в процессе последующей обработки в течение 10 минут (кривая 2), 30 минут (кривая 3) и 46 минут (кривая 4). При этом наблюдается основная фрагментация на частотах $0,10,3 \text{ Гц}$ и $0,40,6 \text{ Гц}$. Выравнивание прочностных и деформационных свойств поверхностного слоя, сопровождающееся уменьшением разброса тангенциальной составляющей силы трения при сканировании соответствующих образцов, может выступать дополнительным показателем повышения производительности резания.



а



б

Рис. 2. Кривые изменения спектральной плотности сил контактного деформирования при сканировании образцов, обработанных опытными и серийными лентами с различным машинным временем шлифования:

а – обработка в среде водоземulsionной СОЖ;
б – обработка без СОЖ
1,5 – гранульная лента $T_{\text{маш}} = 10$ мин; 2,6 – серийная лента $T_{\text{маш}} = 10$ мин; 3,7 – гранульная лента $T_{\text{маш}} = 30$ мин; 4,8 – серийная лента $T_{\text{маш}} = 30$ мин

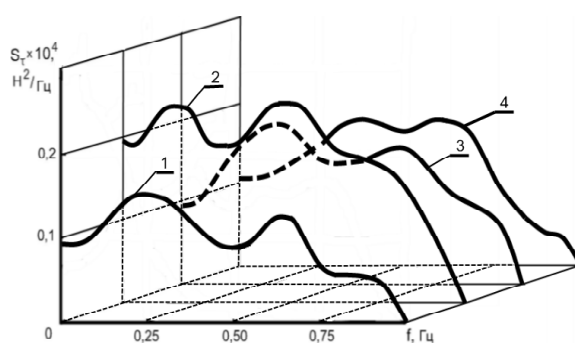


Рис. 3. Кривые изменения спектральной плотности сил контактного деформирования при сканировании образцов, обработанных лентами из гранулированного абразивного материала в среде водоземulsionной СОЖ

1 – $T_{\text{маш}} = 2$ мин; 2 – $T_{\text{маш}} = 10$ мин;
3 – $T_{\text{маш}} = 30$ мин; 4 – $T_{\text{маш}} = 46$ мин

В частности, это подтверждается эффектом повышенного износа деталей с однородным равнопрочным поверхностным слоем. Явления, наблюдающиеся при износе деталей машин, имеют место и при резании металлов. Определенную аналогию разрушению обрабатываемого металла при резании представляет процесс сухого внешнего трения при трехмерном нагружении, когда взаимодействие трущихся тел происходит, также, по их поверхностям с существенным влиянием свойств поверхностного слоя [5]. Как показали предварительно проведенные исследования, деформирование металла при трении с разными схемами нагружения приводит к структурным перестройкам поверхностного слоя, изменению энергетического рельефа поверхности. При трехмерном нагружении повышенный износ происходит у деталей с однородным равнопрочным поверхностным слоем. Повышение сложности нагружения в трибосоединении способствует образованию более однородного поверхностного слоя, снижению его прочности, получению более

равномерной микрогеометрии поверхности [6].

На основании проведенного анализа комплекса исследований работоспособности гранулированного абразивного материала при ленточном шлифовании можно заключить, что наличие свободных макрорадикалов в зоне резания оказывает существенное влияние на эффективность процесса обработки. Наибольшее влияние проявляется при совместном воздействии макрорадикалов и поверхностно-активных серных и хлорных присадок смазочно-охлаждающей жидкости. При этом происходит повышение обрабатываемости нержавеющей стали за счет создания в поверхностном слое равнопрочных вторичных структур с низкими прочностными характеристиками. Обработка лентами из гранулированного абразивного материала без подачи СОЖ в зону резания приводит к получению более прочного крупнофрагментного поверхностного слоя, который характеризуется повышенной износостойкостью. Влияние макрорадикалов на повышение производительности резания, в этом случае, проявляется в меньшей степени, что, возможно, связано с совместным действием явления диффузии активных радикалов и окисления поверхности.

Таким образом, внедрение в зону резания активных макрорадикалов при обработке рассматриваемым гранулированным абразивным материалом является перспективным направлением регулирования эффективности процесса шлифования, получения деталей с требуемым структурным состоянием поверхностного слоя. Необходимо проведение дополнительных исследований по оценке химико-физических явлений, протекающих в зоне контакта инструмента и заготовки, оптимизации условий возникновения и воздействия макрорадикалов на обрабатываемый поверхностный слой.

Список литературы

1. Гранульований абразивний матеріал [Текст] : пат. 60756 Україна: МПК В24Д 3/00 /Цыганов В.В.; заявник та патентовласник Запорізький нац.-техн. унів.- №и2010 15127 ; заявл. 15.12.10 ; опубл. 25.06.11, Бюл. № 12. – 2 с.
2. Гороховский Г. А. Поверхностная активация полимеров и ее влияние на износ металлов [Текст] / Г. А. Гороховский // Применение материалов на основе пластмасс для опор скольжения и уплотнений в машинах: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1968. – С. 30–33.
3. Запорожец В. В. Однородность состояния поверхностного слоя нержавеющей стали после ленточной абразивной обработки [Текст] / В. В. Запорожец, В. В. Цыганов // Проблемы трения и изнашивания : науч.-техн. сб. – 1987. – Вып. 32. – С. 43–47.
4. Запорожец В. В. Динамические характеристики прочности поверхностных слоев и их оценка [Текст] / В. В. Запорожец // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 4. – С. 602–609.
5. Цыганов В. В. Моделирование трибопроцессов в зоне контакта инструмента и заготовки при обработке металлов резанием [Текст] / В. В. Цыганов, Л. И. Ивченко // Оптимизация производственных процессов. – Севастополь : СевГТУ, 2010. – № 12. – С. 62–65.
6. Ивченко Л. И. Особенности изнашивания трибосопряжений в условиях трехмерного нагружения [Текст] /Л. И. Ивченко, В. В. Цыганов, И. М. Закиев // Трение и износ. – 2011. – Т. 32, №1. – С. 500–509.

Поступила в редакцию 14.09.2011

Цыганов В.В. Вплив макрорадикалів на ефективність шліфування стрічками з гранульованого абразивного матеріалу

Розглянуто результати досліджень обробки шліфувальними стрічками з гранульованого абразивного матеріалу. Показаний зв'язок показників абразивної обробки і структурного стану обробленого поверхневого шару. Запропонований механізм впливу вільних макрорадикалів, що утворюються при деструкції полімерної зв'язки гранул, на ефективність шліфування.

Ключові слова: гранульований матеріал, поверхневий шар, шліфування, макрорадикали.

Tsyganov V. Influence of macroradicals on efficiency of polishing ribbons from granular abrasive material

The results of researches of treatment polishing ribbons are considered from granule abrasive material. Connection of indexes of abrasive treatment and structural state of the treated superficial layer is rotined. The mechanism of influence of free macroradicals, appearing at destruction of polymeric copula of granule, on efficiency of polishing is offered.

Key words: granule material, superficial layer, polishing, macroradicals.