

О влиянии смазочно-охлаждающих средств на процесс резания

Сформулированная проблема необходимости повышения обрабатываемости металла. На основании обобщения исследований в области физико – химической механики материалов предложена гипотеза по перманентной активации МОТЗ в зоне резания в водородной плазме, механизм ее влияния на процессы деформации и разрушения, а также обоснованные новые пути формообразования изделий

В работе показано, что смазочно – охлаждающие технологические средства в своем большинстве состоят в основном из двух элементов – водорода и углерода, активируются в зоне разрушения к новому фазовому состоянию – водородной плазме. Поэтому основные изменения механических свойств твердого тела в условиях взаимодействия тела со средой, следует связывать, с влиянием возникающей радикально-активной среды, а не из начальной поверхностно-активной. Неоднозначность в оценке причин, при которых возникает облегчение процессов деформации и разрушения твердых тел, которые деформируются в разных средах вызвало постановку системных исследований, которые посвящены данной проблеме.

В результате химических превращений начальной среды до уровня возникновения электрически активных частей водорода, появляется возможность их взаимодействия с ионами и свободными электронами металла, которые усиливается электрическим полем, существующему в системе «станок-инструмент-заготовка».

Именно взаимодействие электрически активной структуры металла, которая возникает в результате механического действия, с электрически заряженной смесью частей водорода, то есть взаимодействию электрон-электрон, электрон-ион и ион-ион способны радикально изменить физические и механические свойства металла.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости; поверхностная энергия; адсорбция, обрабатываемость, плазма.

Существующие взгляды на общую проблему влияния активной среды на механические свойства твердых тел в принципиальном отношении не претерпели изменений с того времени, как П.А.Ребиндер выдвинул известное положение об ответственности обратимого (адсорбционного) взаимодействия тела со средой за облегчение процессов перестройки и разрыва межатомных связей [1].

Теоретически обоснованные и подтвержденные практикой представления о физической природе снижения механических свойств материалов под влиянием поверхностно-активных сред позволили определить пути отыскания казалось бы наиболее эффективных способов управления силами сцепления в твердых телах при оптимальном сочетании механических взаимодействий и физико-химических факторов, создающихся поверхностно-активной средой или малыми адсорбирующими добавками [2]. Эти представления до настоящего времени лежат в основе снижения силовых параметров механической обработки разрабатываемых СОТС. Вместе с тем, даже беглый и, естественно, неполный перечень работ по рассматриваемой проблеме, показывает, что в большинстве случаев, адсорбционный эффект не является решающим в облегчении процессов деформации и разрушения. Накопленные за длительный период экспериментальные данные показывают, что адсорбция среды на деформируемом твердом теле скорее всего является только первым актом в цепи дальнейших химических превращений исходной среды.

Действительно, было показано, что смазочно-охлаждающие жидкости, в своем большинстве состоящие в основном из двух элементов – водорода и углерода, активируются в зоне разрушения до нового фазового состояния – водородной плазмы [3, 4]. Поэтому основные изменения механических свойств твердого тела в условиях взаимодействия тела со средой, следует связывать, с влиянием возникающей радикально-активной среды, а не с исходной поверхностно-активной.

Неоднозначность в оценке причин вызывающих облегчение процессов деформации и разрушения твердых тел деформируемых в различных средах вызвало постановку системных исследований посвященных рассматриваемой проблеме. Ниже приведем анализ результатов, некоторых из них.

Отметим только, что при оценке влияния среды на процессы упруго-пластического разрушения тела при механической обработке металла резанием будем учитывать не только возможные взаимодействия химических элементов, входящих в состав среды с поверхностями вершины трещины, сформированными неоднородной областью материала но и с областью материала на более дальних

расстояниях от кончика трещины (рисунку 1). Рассматривая эти взаимодействующие системы будем учитывать также экстремальные условия, которые создаются в зоне разрушения. К их числу относятся в первую очередь высокая скорость деформирования металла, значение которой достигают 10^3-10^6 с^{-1} и более, а также узкая трещина, сходящая в вершине до размера параметра решетки по которой, чтобы оказать влияние на разрушение, должна мигрировать среда.

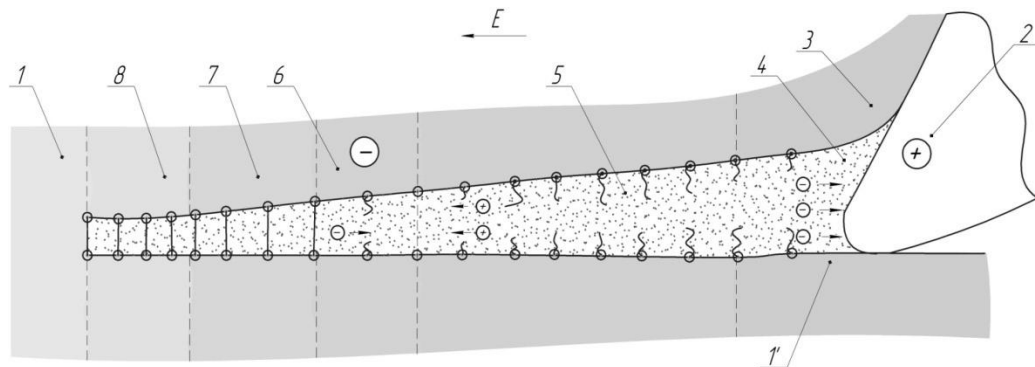


Рис.1. Модель зоны стружкообразования:

1. Обрабатываемый материал; 2. Инструмент; 3. Стружка; 4. Щелевое пространство; 5. Трещина;
6. Область неоднородного материала перед вершиной трещины; 7. Область пластически деформируемого материала; 8. Область упруго деформируемого материала.

С учетом вышеизложенного проанализируем возможные взаимодействия среды с металлом в момент вскрытия новых поверхностей у вершины трещины.

Известно, что на работу пластической деформации, например, при точении жаропрочных сплавов затрачивается до 90–95 % работы резания [5]. При этом суммарная работа на пластическую деформацию состоит из работы пластической деформации в непосредственной близости у режущей кромки резца, где начинается разделение металла, т.е. сразу начиная от поверхности и прилежащем под поверхностью слое, а также пластической деформации протекающей в зоне опережающего упрочнения и охватывающей большой объем металла. Например, размеры суммарной пластически деформируемой зоны при точении на воздухе стали ХН77ТЮР перед резцом достигают более 6 мм, а под резцом свыше 3 мм. В этом случае общепринято считать, что работа, затрачиваемая при резании на упругую деформацию является второстепенной и в общем балансе энергетических затрат близка к нулю.

Известно, что при механической обработке поликристаллических металлов, когда происходит упруго-пластическое разрушение, свободная поверхностная энергия в балансе суммарной затрачиваемой энергии, обычно составляет всего 10^3-10^4 . Следовательно в случае гипотетического контакта среды с материалом непосредственно в очаге разрушения доля снижения свободной поверхностной энергии вследствие адсорбции может составить только незначительную часть общих энергетических затрат. Например, тепловой эффект физической адсорбции водорода на стали, одного из самых активных химических элементов снижающих механические свойства металла, невелик и обычно вызывает снижение поверхностной энергии на $900 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$. В то же время фактические энергетические затраты составляют в этом случае $2 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^2$ [6, 7].

Поэтому, если даже допустить, что адсорбционные слои поверхностно-активных веществ из окружающей среды успевают проникнуть в развивающиеся с большой скоростью дефекты, покрывая образующиеся в них новые поверхности, то в общем балансе энергетических затрат на деформацию, разрушение и трение доля понижения прочности вследствие адсорбции среды на поверхностях вершины трещины не будет иметь существенного значения.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, среда в данном случае, не может оказать существенное влияние на процесс резания. Тем не менее, например, при точении сплава ХН77ТЮР или 10Х14Т14Н4Т, в зависимости от состава СОТС потребляемая мощность может снизиться от 25 до 36 %, стойкость инструмента увеличиться в среднем в 8 раз, шероховатость обработанной поверхности уменьшиться на 1,5 класса по сравнению с точением на воздухе. Аналогичные результаты получены при механической обработке других жаропрочных сплавов на различных операциях и режимах обработки [3, 4].

Приведем еще один яркий пример, когда адсорбционная активность среды не изменяется, а ее эффективность значительно повышается.

Приводили сверление стали 40X(HRC 50) при различных режимах обработки в двух средах: гептане (C_7H_{16}) и в гептане, который содержал 1,5 % растворенного в нем полиэтилена ($-CH_2-CH-$) низкого давления молекулярной массы 150 тыс. Молекулы одной и другой среды состоят из одних и тех же атомов углерода и водорода, но вторая среда представляет собой разбавленный раствор полиэтилена, в гептане, макромолекулы которого отличаются от первой среды огромной молекулярной массой.

Здесь следует отметить, что вообще говоря полимолекулярную адсорбцию следует рассматривать как разделение фаз, обусловленное взаимодействием раствора с твердой поверхностью. В этом случае на поверхности раздела твердое тело – раствор возможно большее число конфигураций макромолекул. Вероятно поэтому адсорбционное равновесие может устанавливаться очень медленно, только после выдержки в часах и даже многих дней [8]. Кроме этого, было установлено, что при адсорбции полимера преобладают не энергетические а энтропийные факторы [9]. Следовательно, адсорбция полимерной составляющей растворителя в условиях резания не может значительно изменить адсорбцию ее растворителя гептана.

Известно также [10], что по мере удлинения молекулярной цепи (т.е. увеличения молекулярной массы), изгибы молекулярной цепи в растворе все более приближают молекулу к свернутой форме вследствие чего изгибы цепей все более экранируют внутренние участки молекул и, в конце концов, образуя модель бесконечно свернутого клубка. Следовательно, присутствие полиэтилена в гептане не может отразиться на его адсорбционной активности в связи с тем, что полимерные клубки будут отфильтрованы трещиной, поскольку их размеры на несколько порядков превышают расстояние между берегами трещины. Таким образом, добавка полиэтилена к гептану не изменит его адсорбционную активность, а следовательно согласно адсорбционной теории, она не должна влиять на силовые параметры резания. На самом деле крутящий момент при сверлении в среде с добавкой полиэтилена в среднем снизился по сравнению с обработкой в среде без полимера на 40 %. При хонинговании стальных деталей одинаковыми алмазными хонбрусками в гептане с полимером по сравнению с чистым гептаном получены следующие результаты: средняя величина снимаемого слоя по диаметру увеличилась на 40 %, шероховатость обработанной поверхности уменьшилась на 30 %, а средний удельный расход алмазов уменьшился на 55 %.

2. В настоящее время наибольшее распространение в практике получили масляные жидкости с присадками для резания при относительно низкой скорости и жидкости на водной основе (эмульсии или химические растворы) для резания со средними и высокими скоростями. Все они являются органическими соединениями, в том числе и большая группа соединений, состоящих из атомов только двух элементов – углерода и водорода. Эффективность и стабильность современных СОТС на водной основе значительно зависят от природы поверхностно-активного эмульгатора. Наиболее широкое применение получили анионоактивные ПАВ, отличительной особенностью которых является их способность формировать на поверхности металла прочные адсорбционные слои. Важно отметить, что ПАВ в составе СОТС склонны к мицеллообразованию и такая наименьшая частица (состоящая из 20–30 молекул), с которой связывается облегчение процессов деформации и разрушения, имеет диаметр 10–60 Å. Тогда как микротрещины сходятся до устья имеющего межатомное расстояние [1], т.е. значительно меньше геометрических размеров веществ, составляющих ПАВ. Наименьший из химических элементов ион водорода, который может находиться в водном растворе (диаметр протона водорода в тысячи раз меньше диаметра ионов других элементов), но не в свободном состоянии, а в виде очень прочного гидрата – гидроксония H_3O^+ , концентрация которого в воде чрезвычайно мала. Например, чистая вода содержит ионы гидроксония в концентрации всего $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л и даже при добавлении кислоты концентрация ионов водорода возрастает незначительно. Это означает, что хотя и существует гипотетическая вероятность воздействия водорода, содержащегося в воде на ход механического процесса, однако его низкая концентрация в среде практически исключает такую возможность.

Таким образом геометрические размеры веществ, входящих в состав СОТС, являются препятствием для непосредственного их контактного взаимодействия с реальной структурой материала, образующейся в момент разрушения.

Что касается кинетического фактора, то здесь априори можно утверждать о его невыполнении при огромных скоростях деформирования металла при резании. Например, наибольшей скоростью растекания по стали обладает олеиновая кислота, входящая в состав СОТС. Скорость растекания олеиновой кислоты составляет 20 см/с, тогда как скорость резания превышает ее на несколько порядков.

3. На атомы, находящиеся на поверхности полостей трещины воздействуют силы только с одной стороны, т.е. со стороны атомов твердого тела, находящиеся под поверхностным слоем. Возникающая при этом равнодействующая сила направлена внутрь от поверхности, вследствие чего поверхности трещины стремятся к уменьшению, что будет способствовать растягиванию полостей трещины и ее

росту (рисунок 2). При адсорбции сред в той или иной мере произойдет компенсация разорванных сил связей поверхностных атомов и уменьшение сил, втягивающих атомы в глубь материала, а также снижение поверхностного натяжения. В этом случае напряжения в вершине трещины развиваемые поверхностными силами уменьшатся, а препятствия разрушению увеличатся, что будет способствовать захопыванию полостей трещины и оказывать большее сопротивление ее росту. Следовательно, исходя из этой модели, адсорбция среды хотя и снижает свободную поверхностную энергию полостей трещины, однако напряжения, развиваемые поверхностными силами на кончике трещины будут возрастать и оказывать дополнительное сопротивление разрушению.

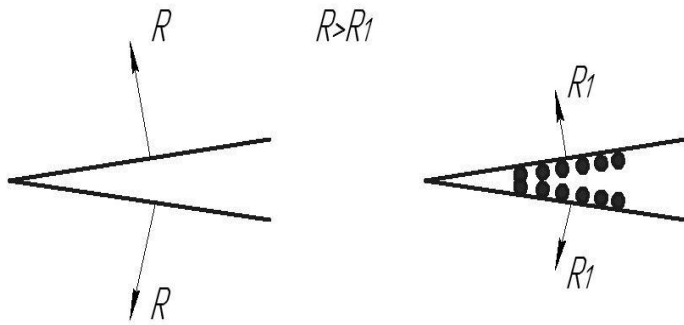


Рис.2 Модель микротрещины: R – сила поверхностного натяжения на ювенильной поверхности, способствующая росту трещины, R_1 – скомпенсированная сила поверхностного натяжения вследствие адсорбции.

В итоге, на основании приведенного анализа экспериментальных данных можно сделать следующие выводы.

1. Показана ограниченность общепринятой теории адсорбционного понижения прочности деформируемого металла в поверхностно-активной среде.

2. В надежде, что эксперимент в будущем подтвердит высказываемые здесь положения, отметим, что очевидно параллельно с адсорбционными процессами исходной среды идут иные более глубокие радикальные процессы на квантовом уровне, обуславливающие различные изменения свойств деформируемого тела.

По-видимому, вследствие химических превращений исходной среды до уровня образования электрически активных частиц водорода [11], появляется возможность их взаимодействия с ионами и

свободными электронами металла, усиливаемого электрическим полем, существующем в системе «станок-инструмент-заготовка». Именно взаимодействия электрически активной структуры металла, возникающей вследствие механического воздействия, с электрически заряженной смесью частиц водорода, т.е. взаимодействия электрон-электрон, электрон-ион и ион-ион способны радикально изменить физические и механические свойства металла [11].

Список использованной литературы:

1. *Rebinder P.A.* // Phys. – № 191. – 1931. – 37 p.
2. *Лихтман В.И.* Физико-химическая механика / *В.И. Лихтман, Е.Ф. Щукин, П.А. Ребиндер.* – М. : АН СССР, 1962. – 277 с.
3. *Сошко А.И.* Механохимическая обработка металлов / *А.И. Сошко, В.А. Сошко.* – ФРГ : LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 98 с.
4. *Сошко А.И.* Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла. Т. 1, 2 / *А.И. Сошко, В.А. Сошко.* – Херсон : Олди-плюс, 2008. – 618 с.
5. *Старков В.К.* Дислокационные представления о резании металлов / *В.К. Старков.* – М. : Машиностроение, 1979. – 159 с.
6. *Отами Н.* Тецу то Хаганз / *Н.Отами* // Всесоюзный центр переводов. – М., 1974. – Вып. 60, № 1. – Перевод № Ц-352 333. – М., 1983.
7. *Литвин А.К.* Физико-химическая механика материалов / *А.К. Литвин, В.С. Ткачев* // Бюлетень. – К., 1976. – Вып. 12, № 2. – 12 с.
8. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей / *А.Адамсон.* – М. : Мир, 1979. – 564 с.
9. *Кулезнев В.И.* Химия и физика полимеров / *В.И. Кулезнев, В.А. Шеринев.* – М. : Высшая школа, 1988. – 310 с.
10. *Шмелёв Б.А.* Методы определения и исследования состояния газов в металлах / *Б.А. Шмелёв.* – М. : Наука, 1968. – 48 с.
11. *Сошко А.И.* Обоснование механоплазменного эффекта, возникающего в процессе механической обработки металла в смазочно-охлаждающих технологических средствах / *В.А. Сошко, А.И. Сошко* // Металлофизика и новейшие технологии. – Т. 39. – 2017. – С. 117–140.

References:

1. Rebinder, P.A. (1931), *Phys.*, No. 191, 37 p.
2. Likhtman, V.I., Shchukin, E.F. and Rebinder, P.A. (1962), *Fiziko-khimicheskaya mekhanika*, AN SSSR, M., 277 p.
3. Soshko, A.I. and Soshko, V.A. (2015), *Mekhanokhimicheskaya obrabotka metallov*, LAMBERT Academic Publishing, FRG, 98 p.
4. Soshko, A.I. and Soshko, V.A. (2008), *Smazочно-okhlazhdayushchie sredstva v mekhanicheskoi obrabotke metalla*, in parts, Part 1, 2, Oldi-plyus, Kherson, 618 p.
5. Starkov, V.K. (1979), *Dislokatsionnye predstavleniya o rezanii metallov*, Mashinostroenie, M., 159 p.
6. Otami, N. (1974), «Tetsu to Khaganz», *Vsesoyuznyi tsentr perevodov*, Issue 60, No. 1, Translate by vsesoyuznyi tsentr perevodov (1983), N Ts-352 333, Moscow.
7. Litvin, A.K. and Tkachev, V.S. (1976), «Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov», *Byuleten'*, Vol. 12, No. 2, 12 p.
8. Adamson, A. (1979), *Fizicheskaya khimiya poverkhnosti*, Mir, M., 564 p.
9. Kuleznev, V.I. and Shershnev, V.A. (1988), *Khimiya i fizika polimerov*, Vysshaya shkola, M., 310 p.
10. Shmelev, B.A. (1968), *Metody opredeleniya i issledovaniya sostoyaniya gazov v metallakh*, Nauka, M., 48 p.
11. Soshko, A.I. and Soshko, V.A. (2017), «Obosnovanie mekhanoplazmennogo efekta, vznikayushchego v protsesse mekhanicheskoi obrabotki metalla v smazочно-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstvakh», *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, Vol. 39, pp. 117–140.

Сошко Олександр Іванович – доктор технічних наук; професор; Харківський національно технічний університет.

Наукові інтереси:

- механоплазменная обработка металлов;
- смазочно-охлаждающие технологические средства в механической обработке.

Тел.: (066) 152-47-47.

E-mail: sohking@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 04.10.2017.