

К электродиффузионному износу

12, декабрь 2012

DOI: 10.7463/1212.0486388

Ковалев В. Г., Ковалев С. В.

УДК621/983/3

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

kst.gov@b.ru

При холодном пластическом деформировании одной из причин выхода из строя инструмента является износ рабочих частей инструмента пуансонов и матриц. Величина износа определяется конструкторско-технологическими особенностями изготавливаемой детали и штампа: материалом и геометрическими особенностями детали и штампа, качеством изготовления деталей и сборкой штампа. На это указывали многие исследователи процесса холодного деформирования металлических деталей - М.Е. Зубцов, Д.А. Вайнтрауб, В.Д. Корсаков и др. Отмечается также, что в этих процессах на износ инструмента оказывает немалое влияние электродиффузионный процесс. Это показано для процессов обработки резанием в работе Бобровского В.А.[1], а также у Ф.П. Михаленко [5].

Основные вопросы физики электродиффузионного процесса изложены в работе В.А. Бобровского[1]. Сущность процесса заключается в следующем. Выделяющееся при холодном пластическом деформировании тепло нагревает обрабатываемую заготовку и инструмент, что при различной контактной разности потенциалов материала заготовки и инструмента создает электродвижущую силу (термо-ЭДС), которая увеличивается обычно с увеличением степени деформации и соответственно температуры контактирующих материалов. Под действием термо-ЭДС происходит перенос находящихся в тепловом движении частиц – ионов, сопровождающийся износом и соответственно изменением размеров инструмента. Согласно современным представлениям и механизме электродиффузии на мигрирующий в процессе электропереноса ион действуют сила электрического поля и сила взаимодействия иона с электронами проводимости, передающая иону направленный импульс в сторону анода. В общем случае при участии электронов и дырок в проводимости, действует и третья сила – сила взаимодействия иона с дырками, увлекающая ион к катоду. Причем интенсивность электродиффузии пропорциональна плотности тока.

Поверхностные частички инструмента подвергаются переносу в первую очередь. Это приводит при одновременном действии других механизмов износа (абразивно-механического, адгезионного и др.) к ухудшению качества рабочих поверхностей и размеров инструмента и детали, коэффициента трения, усилия и работы деформирования.

При холодном выдавливании возникают также условия способствующие «схватыванию»: большие давления (до 200 МПа и более), высокая температура и нулевые скорости деформирования по окончании рабочего хода инструмента. В условиях эксперимента с помощью термопары была определена осредненная температура в процессе деформирования 310...500 С°. Фактическая температура по поверхности скольжения материала в заготовке значительно больше.

Проведенные экспериментальные исследования при холодном выдавливании показали, что при этом процессе возникают термо-ЭДС не меньше, чем при обработке резанием. Из этого следует, что при холодном выдавливании за счет электродиффузионного процесса возможно значительное снижение размерной стойкости и, очевидно, прочностной стойкости инструмента. Ниже приведены экспериментальные данные подтверждающие наличие термо-ЭДС в контактных парах инструмент-заготовка в процессе холодного деформирования.

В экспериментах для выдавливания использовали два материала: дуралюмин Д16 и сталь 10. При выдавливании дуралюмина были использованы три вида разделительных слоев, полученных анодированием, фосфатированием и оцинкованием заготовок по обычной технологии; в качестве смазки использовали животный жир. Выдавливание выполняли при двух степенях деформации 70 % и 80 % по схеме обратного и активного выдавливания на гидравлическом прессе ПД476 со скоростью 2,7 мм/с. В экспериментах определяли термо-ЭДС между заготовкой и пуансоном. Для обеспечения возможности измерения термо-ЭДС в контактной паре заготовка-пуансон, последний был изолирован путем введения слоя изолятора в прокладку и пуансонодержатель пуансона. Матрица и выталкиватель оставались при исследованиях в обычном исполнении. Регистрирующим прибором был миллиамперметр М104 класса точности 0,5, величину термо-тока регистрировали на шкале с ценой деления 0,1 мА; соединительные провода – медные, многожильные, луженые в полихлорвиниловой изоляции. Естественная термопара пуансон-заготовка включалась последовательно в цепь измерения. Провод с заготовкой соединяли путем зачеканки его в отверстие заготовки диаметром 1 мм, другой провод припаивали к пуансонодержателю. В экспериментальном штампе посадка пуансона в пуансонодержателе была выполнена по цилиндрической поверхности. Наибольшую величину термотока фиксировали в журнале. В таблице представлены результаты экспериментальных исследований.

Замечено, что термоток в измерительной цепи продолжает протекать и после окончания рабочего хода, очевидно до момента окончательного охлаждения выдавленной детали до

температуры инструмента, и кроме того, наблюдалось появление термотока до величины 0,05 мА при удалении пуансона из выдавленной детали.

Из представленных в таблице экспериментальных данных, полученных при обратном и активном выдавливании дуралюмина и стали 10 с различными разделяющими слоями и степенями деформации можно сделать следующие выводы.

1. Способ выдавливания (обратный, активный) независимо от марки деформируемого материала и вида разделительного слоя значительно влияет на величину термотока.

2.

Термоток при выдавливании дуралюмина Д16 и стали 10
при активном и обратном холодном выдавливании

№ п/п	Степень деформации, %	Способ выдавливания	Материал	Разделяющий слой, смазка	Термоток
1	70	обратный	Д16	Фосфат, цилиндровое масло + парафин	0,25
2	«	«	«	« «	0,25
3	«	«	«	« «	0,25
4	«	«	«	« «	0,18
5	«	«	«	« «	0,10
6	«	«	«	« «	0,14
7	«	«	«	« «	0,15
8	«	«	«	« «	0,20
9	«	«	«	« «	0,18
10	«	«	«	анод «	0,18
11	«	Обратный	«	« «	0,30
12	«	«	«	« «	0,35
13	«	«	«	« «	0,32
14	«	«	«	« «	0,32
15	«	«	«	Цинк «	0,18
16	«	«	«	« «	0,20
17	«	«	«	« «	0,20
18	«	«	«	« «	0,18
19	«	«	«	« «	0,20
20	«	«	«	« «	0,19

21	«	«	«	«	«	0,19
22	«	активный	«	«	«	0,10
23	«	«	«	«	«	0,10
24	«	«	Сталь 10	Фосфат, животный жир		0,12
25	«	«	«	«	«	0,09
26	«	обратный	«	«	«	0,12
27	«	«	«	«	«	0,15
28	«	«	«	«	«	0,12
29	«	«	«	«	«	0,12
30	«	активный	«	«	«	0,08
31	«	«	«	«	«	0,06
32	80	обратный	Д16	Анод, цилиндр. масло+ +парафин		0,32
33	«	«	«	«	«	0,35
34	«	«	«	Цинк	«	0,20
35	«	«	«	«	«	0,20

Из приведенных данных следует, что при обратном выдавливании величина термотока ~ в 1,5 раза больше, чем при активном.

3. Величина термо тока при данных условиях эксперимента зависит от марки деформируемого металла; при выдавливании стали по обратной и активной схемах выдавливания ток почти в 2 раза меньше, чем при выдавливании дуралюмина в тех же условиях.

4. Степень деформации должна оказывать влияние на величину термо-ЭДС. С увеличением степени деформации должен увеличиваться термоток. В наших экспериментах при увеличении степени деформации с 70 % до 80 % при выдавливании дуралюмина Д16 получено увеличение термотока. Это увеличение незначительно очевидно из-за того, что увеличение степени деформации незначительно (10 %).

5. Вид разделяющего слоя также влияет на величину термотока при выдавливании одного и того же материала с одинаковой смазкой. Испытанные разделяющие слои по электрической проводимости следует поставить в следующем порядке: цинковый, фосфатный и анодный. Следовательно износ инструмента при анодном разделяющем слое должен быть больше, чем при цинковом, а при фосфатном разделяющем слое меньше, чем при анодном, но больше, чем при цинковом.

6. Рассеивание экспериментальных данных внутри каждой группы незначительно.

7. Полученные результаты не противоречат физической сущности процессов, протекающих при различных условиях деформирования. Зависимость термо тока от способа выдавливания можно объяснить на основе усилия и работы деформирования. Принимая величину очага деформации приближенно одинаковой при обоих способах выдавливания и уменьшение усилия в случае «активной» схемы, можно установить, что при «активном» выдавливании работа деформирования меньше и в связи с этим должна быть меньше температура в очаге деформации. В действительности величина очага деформации при «активном» выдавливании больше, чем при обратном выдавливании, поэтому работа деформирования в очаге деформации распространяется на больший объем металла и, следовательно, температура и термо-ЭДС в очаге деформации при активном выдавливании должна быть также и по этой причине меньше.

Зависимость термотока от материала, очевидно объясняется различной контактной разностью потенциалов заготовки и инструмента и различной электропроводностью стали 10 и дуралюмина Д16; действительно для малоуглеродистой стали, к которой принадлежит сталь 10, оно равно $0,10...0,12 \text{ ом}\cdot\text{см}^2/\text{м}$ [2], а для Д16 - $0,044...0,073 \text{ ом}\cdot\text{см}^2/\text{м}$ [3]. Теплофизические характеристики (удельная теплоемкость стали 10 $\alpha = 0,112 \text{ кал/г}\cdot\text{град}$ [4], для Д16 $\alpha = 0,28 \text{ кал/г}\cdot\text{град}$ [3], коэффициент теплопроводности стали 10 - $\lambda = 0,05 \text{ ккал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ [4], для Д16 - $\lambda = 0,46 \text{ ккал/см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ [3]) и работа деформирования (для стали больше, чем для дуралюмина) обеспечивали бы более высокую температуру и термоток при выдавливании стали, так как при нагреве очага деформации на один градус для Д16 требуется почти такое же количество тепла ($0,28 \text{ кал/очаг/град}$), как и для стали ($0,35 \text{ кал/очаг/град}$), а количество тепла уходящего из очага деформации в единицу времени для Д16 (больше в 9 раз), чем для стали.

Увеличение термотока при увеличении степени деформации можно объяснить увеличением работы деформирования и тем самым теплоты (температуры). Каких-либо данных о электропроводности разделяющих слоев у авторов нет, но из полученных экспериментальных данных следует, что разделяющие слои обладают различным электросопротивлением; наименьшее электросопротивление у цинкового слоя, наибольшее - у слоя анодных окислов, промежуточное - у цинкового фосфата.

Заключение. 1. Представленные экспериментальные данные показывают, что в процессах холодного деформирования металлов возникают термотоки. Эти термотока, как показывают экспериментальные данные из смежной отрасли обработки - резания, способствуют интенсивному износу инструмента. При исключении их влияния стойкость инструмента увеличивается в несколько раз.

2. Поэтому необходимо защитить инструмент в процессах холодного пластического деформирования от вредного влияния термо-ЭДС. Для этого возможно использование <http://technomag.edu.ru/doc/486388.html>

например, способа разрыва цепи термотока путем введения изолирования пуансона с помощью клеевой прослойки между пуансоном и пуансонодержателем и изоляционной опорной прокладки

Список литературы

1. Бобровский В.А. Электродиффузионный износ инструмента. М., Машиностроение. 1970. 200 с.
2. Справочник по электротехническим материалам. В 2 т. Т. 2. Магнитные, проводниковые, полупроводниковые и другие материалы / ред. Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. 511 с.
3. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник. Т.1. Цветные металлы и сплавы / под ред. Л.П. Лужникова; под общ. ред. И.В. Кудрявцева. М., Машиностроение, 1967. 304 с.
4. Марочник стали для машиностроения. ОМТМ-0056-002-68. М., ЦНИИИМАШ, 1968. 599 с.
5. Михаленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

About electrodiffusion wear

12, December 2012

DOI: [10.7463/1212.0486388](https://doi.org/10.7463/1212.0486388)

Kovalev V.G., Kovalev S.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

ksv.gov@b.ru

In this article the authors consider the basic questions of electrodiffusion physics. At cold plastic deformation, heat warms up the workpiece and the tool which are being machined, which, with different contact potential difference of the workpiece material and of the tool, generates an electromotive force (thermo-voltage) which usually increases along with increasing strain and temperature of contacting materials. The experimental data presented in this paper show that during the process of cold deformation of metals there occur thermocurrents from cutting (a related processing) which promote intensive tool wear. With the exclusion of their influence, tool life is increased by several times.

Publications with keywords: [experiment](#), [wear](#), [termo current](#), [alloy Д16](#), [mild steel](#)

[10](#), [method](#), [back](#), [proactive](#), [divide](#), [layer](#), [greasing](#)

Publications with words: [experiment](#), [wear](#), [termo current](#), [alloy Д16](#), [mild steel](#)

[10](#), [method](#), [back](#), [proactive](#), [divide](#), [layer](#), [greasing](#)

References

1. Bobrovskii V.A. *Elektrodifuzionnyi iznos instrumenta* [Electrodiffusion wear of the tool]. Moscow, Mashinostroenie. 1970. 200 p.
2. Bogoroditskii N.P., Pasyukov V.V., eds. *Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam. V 2 t. T. 2. Magnitnye, provodnikovye, poluprovodnikovye i drugie materialy* [Handbook of electrotechnical materials. In 2 vols. Vol. 2. Magnetic, conducting, semiconducting and other materials]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 1960. 511 p.
3. Luzhnikov L.P., Kudriavtsev I.V., eds. *Materialy v mashinostroenii. Vychor i primeneniye. Spravochnik. T.1. Tsvetnye metally i splavy* [Materials in mechanical engineering. Selection and application. Handbook. Vol. 1. Non-ferrous metals and alloys]. Moscow, Mashinostroenie, 1967. 304 p.

4. *Marochnik stali dlia mashinostroeniia. OMTRM-0056-002-68.* [Database of steel grades for mechanical engineering. OMTRM-0056-002-68]. Moscow, TsNIIIMASh Publ., 1968. 599 p.
5. Mikhalenko F.P. *Stoikost' razdelitel'nykh shtampov* [Resistance of separating die]. Moscow, Mashinostroenie, 1986. 224 p.