

ных и фермерских хозяйствах / С.Н. Васильев, С.В. Золотарев, А.М. Булгаков; под общ. ред. И.Я. Федоренко. Барнаул, 2003. 150 с.

2. Федоренко И.Я. Вибрационная техника сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий: учебное посо-

бие / И.Я. Федоренко, П.И. Леонтьев, В.И. Лобанов. Барнаул, 1998. 94 с.

3. Кулаковский И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. М.: Россельхозиздат, 1987. Ч. 1. 285 с.



УДК 631.3.01.004.67

**В.Н. Чижов,
О.Г. Бельчикова,
М.В. Селиверстов,
К.В. Селиверстов**

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ - ОСНОВА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ

Электромеханическое деформирование металлов (ЭМД) представляет собой одновременное воздействие на поверхность детали (или на весь ее объем) электрического тока, вызывающего нагрев металла, и силовое воздействие на нагретый участок инструмента в виде «резца», ролика, гладилки и т.д.

В работе [1] рассмотрены различные способы упрочнения и восстановления деталей, представляющих собой тела вращения (валы, оси, цапфы, пальцы и др.). Авторы приводят рекомендации по упрочнению и восстановлению внутренних цилиндрических поверхностей (отверстий).

Однако спектр использования ЭМД для создания технологий восстановления работоспособности деталей и повышения их ресурса на этом далеко не исчерпан.

Рассмотрим в качестве примера новые технологии, предлагаемые разработчиками службе современного технического сервиса сельскохозяйственной техники. Данные технологии можно уверенно называть энергоресурсосберегающими, так как при их реализации нет потерь металла в стружку. Деталь не теряет своей массы и не увеличивает ее за счет нанесения дополнительного присадочного материала. Она просто восстанавливает свою работоспособность под воздействием ЭМД, а послере-

монтный ресурс ее возрастает, зачастую превышая при этом ресурс новой детали. Это возможно для деталей, потерявших упругость (пружины, рессоры и другие упругие стальные детали), требующих заострения рабочей режущей кромки (диски, лапы культиваторов, лемеха, ножи и т.д.).

Первым необходим быстрый объемный нагрев и деформация, вторым — быстрый локальный нагрев и пластическая деформация затупленного при работе лезвия. А для того чтобы материал этих деталей еще и упрочнился, несложно подобрать для них соответствующий режим охлаждения (закалки), обеспечив его непосредственно в процессе ЭМД.

Технологии, в которых основной операцией является электромеханическое деформирование металла, выгодно отличаются от используемых ныне для ремонта (восстановления) аналогичных деталей, сокращением количества операций за счет их совмещения. Например, операции нагрева, термообработки, упрочнения, деформирования совмещены в технологиях с ЭМД в одну. Зачастую не требуется в таких технологиях операция механической обработки, какая необходима, например, после закалки при нагреве деталей токами высокой частоты и печном нагреве без использования защитной атмосферы в обычных технологиях. Исклю-

чается операция закалки, как правило, сопровождающаяся в традиционных технологиях печным нагревом, который требует больших дополнительных затрат. Отпадает необходимость контроля и поддержания температуры детали в процессе ее обработки в нагретом состоянии (ковка, правка, штамповка и другие виды обработки деталей в горячем состоянии). При ЭМД деталей специально подобранные режимы по току, напряжению и скорости течения процесса автоматически обеспечивают температуру, а также режим нагрева и охлаждения металла детали. Такой подход позволяет достичь значительной экономии энергетических и трудовых ресурсов, а затраты времени на одну деталь сокращаются в 2-7 раз, обеспечивая тем самым значительный рост производительности при ремонте и изготовлении деталей.

Наиболее значимым достоинством технологий, основанных на использовании ЭМД металла деталей, является резкое повышение их срока службы за счет рационального использования запаса металла, заложенного в деталь для ее ремонта, а также за счет повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей после воздействия на них ЭМД.

Проиллюстрируем это утверждение, рассмотрев процессы изнашивания и ремонта рабочих органов сельскохозяйственной техники и оборудования для кормопроизводства (лемех, лапа культиватора, диски сошников и маркёров сеялок, борон, ножи силосных комбайнов, измельчителей кормов и др.), т.е. тех деталей, которые имеют лезвие (режущую рабочую поверхность). Большинство этих деталей изготавливается из легированных сталей (Л53, 60Г, 65Г, 70Г и др.). Стоимость таких сталей высокая и поэтому потери металла должны быть сведены к минимуму как в эксплуатации, так и при ремонте изношенных деталей.

Исходная форма лезвия рабочего органа сельскохозяйственной техники представлена на рисунке 1 а. Она имеет форму клина с углом заточки α и шириной фаски L_p . В процессе работы при контактировании с почвой растениями острие лезвия изнашивается по сравнению с другими поверхностями более интенсивно и, поступая на ремонт, имеет закругленный вид (рис. 1 б). Скруглен-

ная поверхность может быть охарактеризована по величине радиусом r_u (радиусом износа).

При ремонте рабочего органа восстанавливают остроту лезвия, чаще всего снимая с лезвия металл механической обработкой (точение, шлифование) [2, 3] или электроконтактным заострением. Заточку лезвия можно проиллюстрировать схемой (рис. 1 в).

Эта схема является весьма упрощенной и не отражает всей сложности процессов изнашивания и обработки лезвия. Однако в нашем случае она вполне приемлема. Из представленных эскизов (рис. 1) видно, что количество металла, потерянное рабочим органом в результате износа, значительно меньше, чем количество металла, потерянное при его ремонте. Попытаемся определить эти величины.

Масса металла, потерянного при износе лезвия в процессе эксплуатации рабочего органа, может быть представлена выражением:

$$m_u = \gamma_{ст} \cdot V_u, \quad (1)$$

или

$$m_u = \gamma_{ст} \cdot L_p \cdot S_u,$$

а масса металла, потерянного при заточке:

$$m_z = \gamma_{ст} \cdot V_z, \quad (2)$$

или

$$m_z = \gamma_{ст} \cdot L_p \cdot S_z,$$

где $\gamma_{ст}$ – объемная плотность стали, кг/см³;

V_u, V_z – соответственно, объемы изношенного и снятого при заточке металла, м³;

L_p – длина режущей кромки лезвия рабочего органа, м;

S_u, S_z – площадь поперечного сечения соответственно изношенной части лезвия и снятой при заточке, м².

Тогда относительные потери металла при заточке по отношению к потерям в процессе изнашивания лезвия можно представить как

$$\Pi_o = \frac{m_z}{m_u},$$

или с учетом выражений (1) и (2):

$$\Pi_o = \frac{S_z}{S_u}. \quad (3)$$

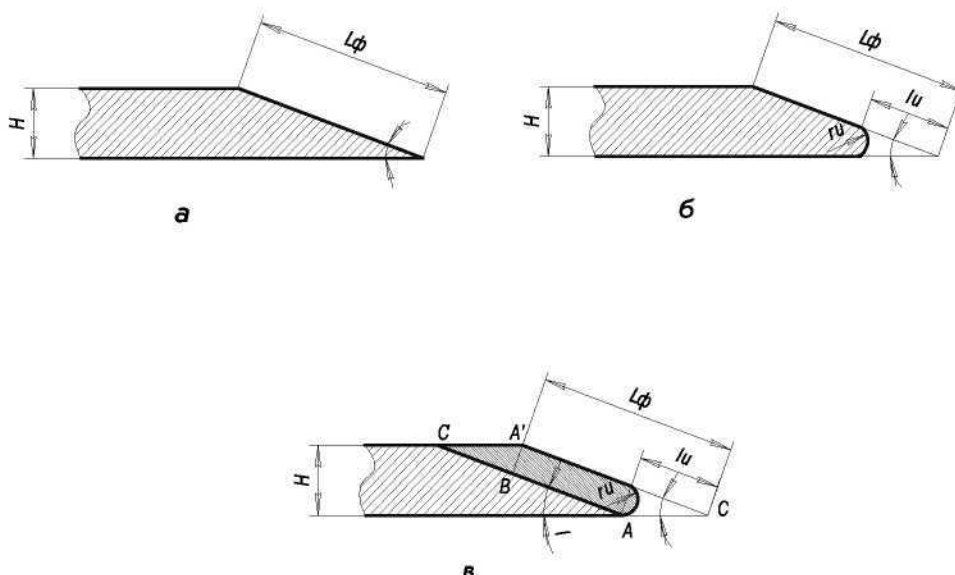


Рис. 1. К расчету объема металла, снимаемого при заточке лезвия:
 а – новое лезвие; б – изношенное лезвие; в – изменение лезвия при заточке

Из выражения (3) следует, что для оценки относительных потерь металла достаточно сравнить площадь поперечного сечения лезвия, приходящуюся на износ в процессе эксплуатации S_u и площадь удаляемого при заточке металла S_3 .

Первая определится из выражения:

$$S_u = \frac{1}{2} AB \cdot BC - \frac{1}{2} \pi r_u^2,$$

но $AB \approx 2r_u$, $BC = l_u$, после подстановки имеем:

$$S_u = r_u \left(l_u - \frac{1}{2} \pi \cdot r_u \right), \quad (4)$$

где l_u – длина изношенной части фаски, м.

Общая площадь потерянного металла:

$$S_o = 2r_u \cdot L_\phi. \quad (5)$$

Тогда площадь (слой) металла, удаленного при заточке:

$$S_3 = S_o - S_u,$$

или с учетом выражений (4) и (5):

$$S_3 = 2r_u \cdot L_\phi - r_u \left(l_u - \frac{1}{2} \pi \cdot r_u \right). \quad (6)$$

В выражениях (4)-(6) величины L_ϕ и l_u при практических замерах определяются с большой погрешностью. Во избежание этого представим их через угол заточки лезвия α , который является более стабильной величиной:

$$L_\phi = \frac{H}{\sin \alpha}, \quad l_u = 2r_u \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (7)$$

где H – толщина рабочего органа за зоной лезвия, м;

α – угол заточки, α° .

Тогда из (4)-(6) с учетом (7) следует:

$$S_u = r_u \left(2r_u \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{2} r_u \right),$$

или

$$S_u = 2r_u^2 \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right); \quad (8)$$

$$S_o = \frac{2r_u H}{\sin \alpha}; \quad (9)$$

$$S_3 = \frac{2r_u \cdot H}{\sin \alpha} - 2r_u^2 \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right). \quad (10)$$

В правой части уравнения (10) вынесем $2r_u^2$ за скобки:

$$S_3 = 2r_u^2 \left[\frac{H}{r_u \cdot \sin \alpha} - \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right) \right]. \quad (11)$$

Подставив значения S_u и S_3 из (8) и (11) в выражение (3), определим относительные потери металла:

$$\Pi_o = \frac{2r_u^2 \left[\frac{H}{r_u \cdot \sin \alpha} - \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right) \right]}{2r_u^2 \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right)},$$

после первого этапа преобразования имеем:

$$\Pi_o = \frac{\frac{H}{r_u \cdot \sin \alpha} - \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right)}{\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4}}.$$

Упростим выражение поэтапно:

$$\Pi_o = \frac{H}{r_u \cdot \sin \alpha - \frac{\pi}{4}} - 1,$$

или

$$\Pi_o = \frac{H}{r_u \cdot (\cos \alpha - \frac{\pi}{4} \sin \alpha)} - 1. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что относительные потери металла при заточке лезвия рабочего органа прямо пропорциональны толщине рабочего органа за зоной лезвия и обратно пропорциональны радиусу износа лезвия. Иными словами, чем больше износ лезвия в процессе эксплуатации рабочего органа, или чем меньше его толщина, тем меньше соотношение потерь металла при заточке к потерям металла при износе. Это наглядно иллюстрируется следующим примером.

Диск сошника сеялки диаметром 350 мм, толщиной 2,5 мм имеет одностороннюю заточку лезвия с углом заточки 25°. Изношенные диски имеют диаметр скругления лезвия (толщину кромки) 0,8-1,6 мм.

Расчеты, проведенные по выражению (12), для дисков сошников сеялки СЗС-3,6 ($D_c = 350$ мм; $H = 2,5$ мм; $r_u = 0,25-1$ мм; $\alpha = 25^\circ$) представлены на рисунке 2 графической зависимостью $\Pi_o = f(r_u)$. В выбранном диапазоне изменения износа кромки лезвия соответ-

ствующие относительные потери металла на заточку Π_o составили 3-16.

Для реального износа режущей кромки диска, показанного выше (данные ГОСНИТИ), эта величина составила 4,5-10, то есть в 4,5-10 раз больше металла теряется при заточке, чем при износе диска в процессе его эксплуатации.

Читатель может убедиться в этом сам, определив и сопоставив потери массы металла при износе диска m_u и его заточке m_z в натуральном выражении, воспользовавшись нижеследующими выражениями:

$$m_u = 2\pi \cdot \gamma_{ст} \cdot D_c \cdot r_u^2 \left(\text{ctg} \alpha - \frac{\pi}{4} \right), \quad (13)$$

$$m_z = 2\pi \cdot \gamma_{ст} \cdot D_c^1 \cdot r_c^2 \left(\frac{H}{r_u \cdot \sin \alpha} - \text{ctg} \alpha + \frac{\pi}{4} \right).$$

В данном примере $L_p = \pi D_c$ – длина режущей кромки диска сошника сеялки, взятая по среднему диаметру диска D_c .

Проведя расчет в указанных диапазонах износа, получаем: при $\gamma_{ст} = 7,86$ г/см³; $D_c = 35$ см; $D_c^1 = 34,5$ см; $R_u = 0,04$ см; $\alpha = 25^\circ$ – масса металла, потерянного диском при износе 3,76 г, при заточке – 36,60 г.

При $\gamma_{ст} = 7,86$ г/см³; $D_c = 34,5$ см; $D_c^1 = 34,0$ см; $r_u = 0,8$ см; $\alpha = 25^\circ$ – масса металла, потерянного диском при износе, – 14,95 г, при заточке – 78,98 г.

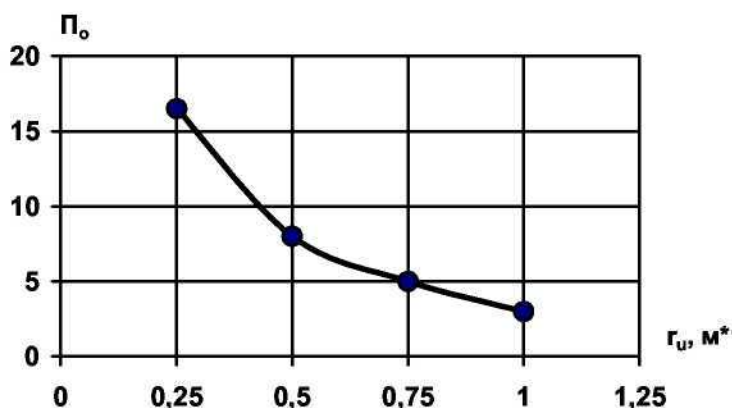


Рис. 2. Влияние радиуса износа лезвия r_u (величины износа) на относительные потери металла при заточке Π_o (на примере диска сошника сеялки)

Определим величины относительных потерь P_0 для первого и второго вариантов износа диска. Расчет показывает, что в первом случае $P_{01} = 9,73$ раза; $P_{02} = 5,28$ раза, в среднем в 7,5 раза больше металла теряется при заточке изношенного диска, чем при его износе, что не противоречит расчетам, проведенным по формуле (12).

Аналогичные результаты получены и в результате экспериментальных исследований, проведенных на кафедре «Технология конструкционных материалов и ремонт машин» Алтайского ГАУ. Погрешность эксперимента составила 12%, отклонение расчетных и экспериментальных данных — 18%, что позволяет судить о правомерности полученных выражений (8, 11, 12).

Из практики использования дисков сошников сеялок известно, что диски за весь срок службы подвергаются заточке 3-5 раз. За этот период диаметр диска уменьшается с 350 до 300-320 мм и теряет в своей массе в среднем 280 г металла, из них всего 33 г при износе, а остальной — при заточке.

Потери металла для одного хозяйства и для Алтайского края в целом огром-

ны. Результаты расчетов говорят сами за себя.

Если же изношенный диск не затачивать, снимая при этом такую массу металла, а оттянуть металл, как это ранее делали, например, ремонтируя лемех плуга, зуб бороны и другие орудия, то срок службы этих деталей будет намного больше.

Этот принцип как раз и лежит в основе технологий ремонта таких деталей с использованием в них ЭМД металла, который еще более экономичен, чем горячая кузнечнаяковка (оттяжка).

Библиографический список

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электрохимической обработкой / Б.М. Аскинази. М.: Машиностроение, 1989. 200 с.
2. Петров С.А. Ремонт сельскохозяйственных машин / С.А. Петров, С.И. Бисноватый. М.: Колос, 1982. 303 с.
3. Мочалов И.И. Ремонт почвообрабатывающих машин / И.И. Мочалов, С.И. Костенко, В.А. Васильев. М.: Россельхозиздат, 1986. 142 с.

