

В.А. Тимощенко, Е.В. Голдыш

**НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ,
РАБОТАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ УСТАЛОСТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ**

*Опытный завод Института прикладной физики,
ул. Миорица, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

Высокая эффективность от нанесения упрочняющих покрытий на металлические поверхности может быть обеспечена только при условии решения двуединой задачи: приведение технической системы в функциональное равновесие и избирательное формирование на взаимодействующих поверхностях слоев, хорошо противостоящих разрушению или зарождению и развитию трещины разрушения конструкции [1].

В условиях многократных воздействий при дискретном касании поверхностей происходит постепенное накопление механических повреждений, приводящих к усталостному разрушению деформируемой зоны [2]. С позиций феноменологической теории разрушения под усталостным разрушением поверхностного слоя материала следует понимать отделение частиц в результате исчерпания ресурса его пластичности при многократном деформационном воздействии.

Поскольку при силовом взаимодействии реализуется поверхностное пластическое деформирование, то обобщенный очаг деформации для модели жесткопластического тела имеет вид, показанный на рис. 1. При движении закругленного контртела по поверхности материальная частица 1, пересекая границу перемещающегося очага *abcdca*, получает деформацию сдвига

$$\Delta \varepsilon'_i = \Delta v'_\tau / v'_n$$

при показателе схемы напряженного состояния $\sigma'_i / \tau_i = -1$, которая нарастает по мере приближения к противоположной границе, а при ее переходе вновь получает существенное приращение

$$\Delta \varepsilon''_i = \Delta v''_\tau / v''_n = 2 / \sqrt{(1 - \mu^2)} \text{ при } \sigma''_i / \tau_i = -5,71 + \arccos 2\mu,$$

где Δv_τ – разрыв касательной составляющей скорости материальной частицы при переходе через жесткопластическую границу в зонах 1 и 2; v_n – нормальная составляющая скорости в этих зонах; σ_i, τ_i – среднее нормальное напряжение и интенсивность касательных напряжений ($\tau_i = k$) в соответствующей зоне (1 или 2); k – сопротивление деформируемого материала сдвигу; μ – коэффициент внешнего трения, $0 \leq \mu \leq 0,5$.

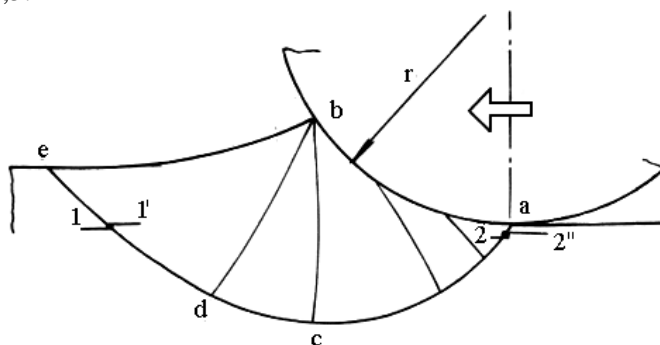


Рис. 1. Очаг деформации при скольжении цилиндрического выступа по поверхности жесткопластического тела.

Путь исчерпания ресурса пластичности для материальной частицы, прошедшей от зоны 1 до зоны 2, показан на рис. 2. Здесь приведена диаграмма пластичности [3], показывающая зависимость предельной деформации сдвига ε_{np} от показателя схемы напряженного состояния σ_i/τ_i , путь нарастания деформации $\Delta\varepsilon_i$ и исчерпание ресурса пластичности $\Delta\varphi_i$.

При определении исчерпания ресурса пластичности

$$\Delta\varphi_i = \Sigma(\Delta\varepsilon_i/\varepsilon_{npi}),$$

(ε_{npi} – предельно допустимая деформация при реализующейся схеме напряженного состояния) зависимость φ_i от ε_i полагали линейной. Тогда графическое построение в левой части рис. 2 отразит степень исчерпания ресурса пластичности (при $\varphi=1$ пластичность металла полностью исчерпана) за один деформирующий проход контртела по взаимодействующей поверхности. Кроме того, в зонах интенсивной локальной деформации получается приращение температуры до величин, вызывающих фазовые изменения в металле. Это приводит к изменению механических свойств металла в поверхностном слое (ε_{np} уменьшается).

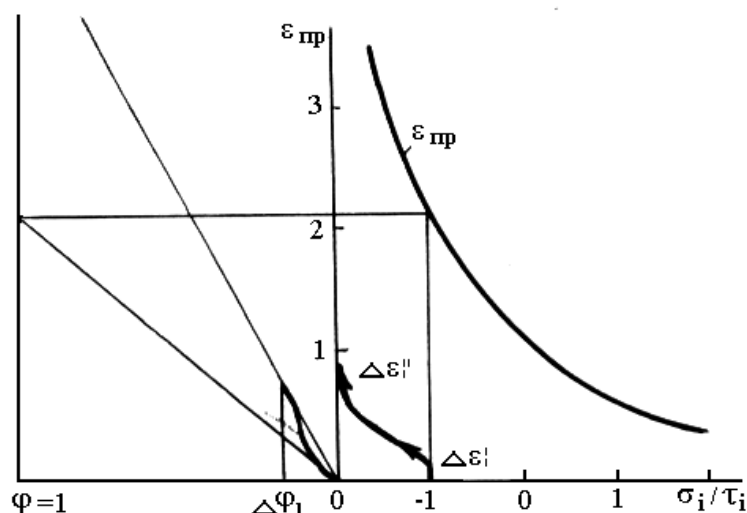


Рис. 2. Схема исчерпания ресурса пластичности деформируемого материала.

Повторные проходы увеличивают степень исчерпания ресурса пластичности

$$\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \dots + \Delta\varphi_n = \sum_{j=1}^n \Delta\varphi_j$$

($\Delta\varphi_i$ – исчерпание ресурса пластичности за один проход) и по достижении условия $\sum_{j=1}^n \Delta\varphi_j = 1$

происходит отделение частиц поверхностного слоя взаимодействующей детали. При циклическом нагружении материальные частицы проходят через зоны разной жесткости схемы напряженного состояния (σ_i/τ_i изменяется от -1 до -4).

При взаимодействии поверхностей, отличных от принятой модели жесткопластического тела, очаг деформации более развит в глубину [4]. Пластическое течение (рис. 3) наблюдается внутри области Σ : граница области разделяет зоны пластической и упругой деформации. Глубина очага пластической деформации H связана с глубиной вдавливания контртела зависимостью

$$H = h/(0,1 + 0,5h/r),$$

где r , h – радиус и глубина вдавливания закругленного выступа.

Для случая скольжения клина, показанного на рис. 3, $H \approx 5,5h$. В этом случае не наблюдается явно выраженной локализации интенсивной деформации как в случае, приведенном на рис. 1, что позволяет выдерживать значительно большее число ступеней деформации до появления шелушения (повышение шероховатости из-за отделения частичек металла). Естественно, что после начала шелушения деформация становится менее устойчивой и локализуется в образовавшихся отдельных выступах. При этом наблюдаются очаги деформаций, подобные тем, которые приведены на рис. 1 и 3, а исчерпание ресурса пластичности металла поверхностного слоя описывается зависимостью

$$\varphi = \sum_{i=1}^m \Delta\varphi_i,$$

где $\Delta\varphi_i$ – исчерпание ресурса пластичности при отдельном деформирующем взаимодействии с рассматриваемой зоной.

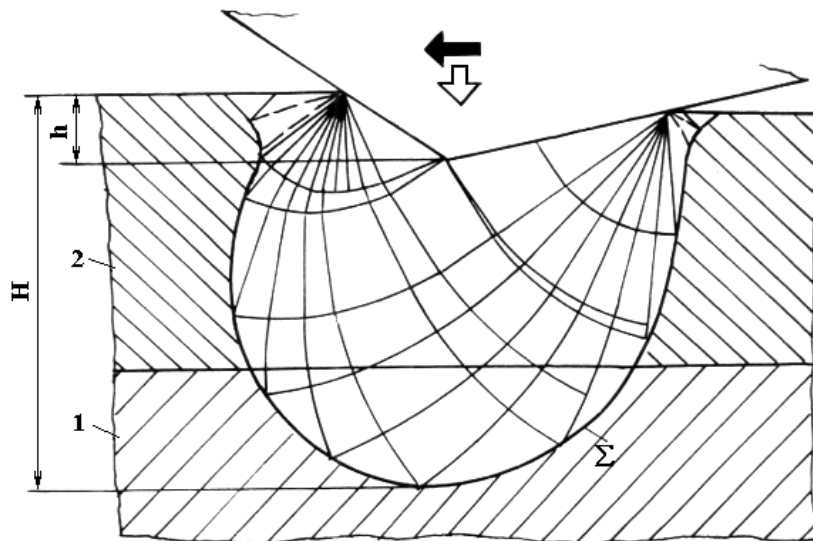


Рис. 3. Форма очага упругопластической деформации при скольжении контртела по металлической поверхности.

Наиболее предпочтительными, способствующими повышению износостойкости, были бы схемы упругопластического деформирования, при которых пластические деформации рассредоточены в больших объемах поверхностного слоя, чем в схемах, подобных показанной на рис. 1. Это условие можно реализовать при уменьшении глубины вдавливания контртела h . Для этого надо увеличить площадь местного контакта поверхностей, снизить усилие вдавливания и коэффициент внешнего трения. Важным является формирование на взаимодействующих поверхностях слоев с рельефом в форме шаровых сегментов и сопротивлением пластическому сдвигу k_n , близкому по величине к k_0 основного материала. Второй, более тонкий слой должен быть из материала с $k_{n2} \leq k_{n1}$ и крутой диаграммой пластичности в области мягких схем напряженного состояния, то есть в области с $\sigma_i/\tau_i \leq -1$. Это свойственно никелю, цинку, некоторым медным сплавам, алюминиевым сплавам. Тогда взаимодействующие поверхности будут испытывать деформации, подобно показанным на рис. 3.

На границе раздела слоев 1 и 2 при существенном различии сопротивления сдвигу k_n и k_0 линии скольжения будут получать дополнительный поворот. Это приводит к появлению на границе раздела разрывов нормальных напряжений $[\sigma_\perp]$, увеличивающихся с ростом отношения k_n/k_0 , что создает предпосылки к разрушению пограничных слоев. Поэтому надо наносить покрытия толщиной $t_n \approx H$ при соблюдении условия $k_n \approx k_0$, но с обеспечением более высокой допустимой пластической деформацией у покрытия (крутая диаграмма пластичности в областях мягких схем напряженного состояния) и плавного перехода между слоями, к примеру, за счет диффузионных процессов, чем достигается высокая несущая способность поверхностного слоя в процессе эксплуатации конструкции. Нанесение сверху тонкого слоя с $k_{n2} < k_{n1}$ способствует увеличению протяженности очага пластического течения в верхнем слое. Теоретический анализ деформирования тонкого поверхностного слоя и экспериментальные исследования изменения шероховатости поверхности от деформирующей нагрузки и числа циклов нагружения показывает, что при этом слой способен выдерживать более высокие нагрузки при большем числе воздействий без их шелушения.

Учитывая требования к покрытиям и то, что их надо наносить на отдельные, часто небольшие, участки поверхности, следует отдать предпочтение электроэрозионному легированию. При этом имеется возможность избирательно наносить покрытия на участки поверхности с учетом реальной схемы взаимодействия, назначая соответствующие материалы электродов и режимы легирования [1]. Когда требуется восстановление изношенных поверхностей, целесообразно наносить восстанавливающий слой, к примеру, гальваническим хромированием с последующим местным легированием. В случае восстановления гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания в зонах верхнего и нижнего крайних положений компрессионного кольца на хромированную поверхность наносили слой

электроэрозионным легированием на мягких режимах. Затем зону с медным покрытием подвергли алмазному выглаживанию. Это обеспечивает резкое снижение износа гильз.

Подобный подход использовали для других пар деталей, работающих в условиях возвратно-поступательного движения, что обеспечивало повышение долговечности не менее, чем в два раза.

Выводы

Для снижения интенсивности усталостного изнашивания, являющегося следствием местного истощения ресурса пластичности, надо обеспечивать схемы взаимодействия, при которых преобладает упругопластический контакт металлических поверхностей и наносить двухслойные покрытия с сопротивлением сдвигу, близким к сопротивлению сдвигу основного металла, но с более высокой допустимой деформацией до разрушения. Более пластичный поверхностный слой надо наносить электроэрозионным легированием избирательно с последующей обработкой поверхностным пластическим деформированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко В.А. Повышение ресурса деталей машин и технологической оснастки. Кишинев, 1995.
2. Крагельский И.В. Развитие науки о трении, износе и смазке твердых тел – трибоники // Словарь - справочник по трению, износу и смазке деталей машин. Киев, 1979. С. 5-10.
3. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. М., 1970.
4. Тимошенко В.А. Скольжение единичной неровности по деформируемой заготовке // Изв. АН МССР. Физика и техника. 1990. № 2. С. 44-47.
5. Тимошенко В.А. Пластическое взаимодействие деформируемой заготовки и выступов шероховатой поверхности инструмента // Трение и износ. 1994. Т.15. № 3. С. 440-445.

Поступила 08.09.2000

Summary

It is ground researches of legitimacies of surface plastic deforming and exhaustion of resource of a plasticity of metal at interplay of conjugated surfaces the route of increase of resistance to their fatigue failure are established.

А.В. Рыбалко*, Д.М. Гричук*, Orhan Sahin**

ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ОБРАБАТЫВАЮЩИМ ЭЛЕКТРОДОМ

**Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова,
**Institute of Technology, 141, Gebzel/Kocaeli, 4140, Turkey*

Непременным атрибутом установок для электроискрового легирования (ЭИЛ) являются электромагнитные вибраторы или другого типа устройства, осуществляющие периодическое контактирование обрабатываемого электрода с деталью [1]. При этом, либо при их сближении, либо в момент контактирования (зависит от типа использования генератора тока) формируется искровой канал. Как было показано ранее [2, 3], использование подобного типа систем коммутирования электрических разрядов оказывает существенное влияние на технологические показатели процесса ЭИЛ (при работе на режимах с энергией импульсов 0,5 Дж и ниже), в частности, снижает производительность. Напомним кратко основные факторы, определяющие потерю производительности установок подобного типа:

© Рыбалко А.В., Гричук Д.М., Sahin Orhan, Электронная обработка материалов, 2001, № 2, С. 16–21.