

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ И ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

*Государственный научно-исследовательский технологический институт
ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка
1-й Институтский проезд, дом 1, 109428, г. Москва, Россия*

Введение

К высоконагруженным объектам относятся инструменты для механической обработки металлов и сплавов резанием и давлением. Наиболее типичными дефектами их рабочих поверхностей являются затупление и выкрашивание режущих кромок при значительном силовом и тепловом нагружении. Так, например, локальная нагрузка на режущую кромку пуансона для пробивки отверстий в толстолистовой малоуглеродистой стали составляет около 4000 МПа. При этом характер и величина износа инструмента зависят в значительной степени от величины относительного перемещения материала заготовки по его поверхности. Кроме того, пластическая деформация и трение на контакте инструментального и обрабатываемого материалов вызывают повышение их температуры, которая на отдельных участках контакта может скачкообразно повышаться до температур фазовых превращений в зависимости от физических свойств материалов.

Действие на контакте высоких локальных температур и химическое сродство инструментального и обрабатываемого материалов вызывают образование адгезионных связей, разрушение которых часто ведет к износу режущей кромки и контактных поверхностей инструмента. Цель работы – повышение износостойкости инструментов для механической обработки металлических материалов методом электроискровой обработки.

Методическая формулировка задачи. В процессе теоретических и экспериментальных исследований решались следующие задачи: 1) формирование рационального рельефа рабочей поверхности инструмента; 2) определение зависимости предельной нагрузки, воспринимаемой покрытием, от его толщины; 3) выявление рациональных физических свойств поверхностного слоя инструмента; 4) определение оптимальных технологических режимов формирования электроискровых покрытий с требуемым рельефом рабочей поверхности инструмента и физико-механическими свойствами его поверхностного слоя.

Описание физической модели. Рациональный рельеф рабочей поверхности инструмента определялся методом линий скольжения. Исследовались деформационные явления на поверхности контакта инструмента и заготовки при силовом нагружении рабочей поверхности инструмента в соответствии с ее рельефом. Учитывалось, что материал заготовки находится в контактной зоне в состоянии пластического течения. Рассмотрен рельеф двух типов: из протяженных выступов клиновидной формы и выступов ограниченной длины. У рельефа первого типа, характерного поверхностям после обработки резанием, длина выступов превосходит ширину не менее чем в два раза. Выступы ограниченной длины имеют близкие размеры в продольном и поперечном направлениях. Рассмотрим схемы (рис. 1) деформирования заготовки 2 выступами 1 двух типов: протяженными в виде клина (рис. 1,а), ориентированными нормально течению обрабатываемого материала, то есть параллельно режущей кромке, и ограниченной длины формы шарового сегмента (рис. 1,б). Установлено, что при некотором ходе L инструмента относительно заготовки в процессах обработки давлением и резанием, в том числе в разделительных процессах, имеет место заклинивание материала в зоне перед единичным протяженным выступом. При дальнейшем увеличении хода площадь зоны заклинивания (см. стадии деформирования 1, 2, 3, рис. 1,а) растет, усиливается давление на единичный выступ, и по достижении критического значения происходит его разрушение.

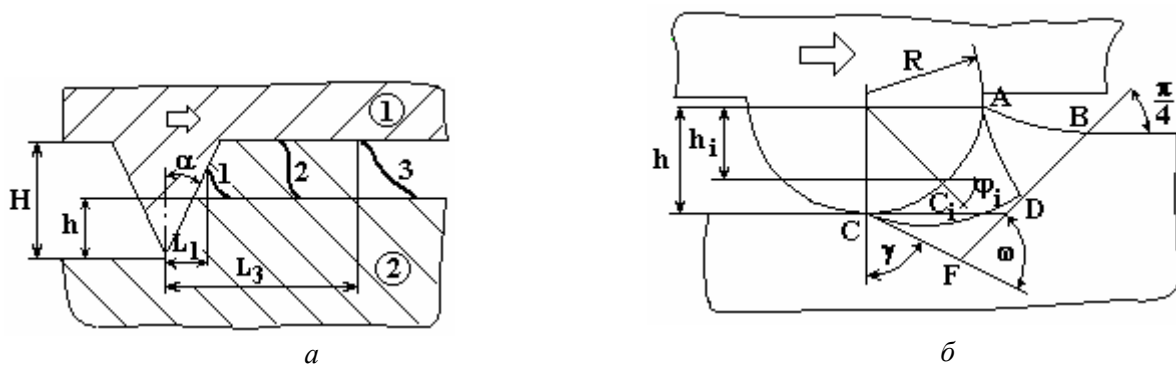


Рис. 1. Деформирование заготовки выступами двух типов: протяженными клиновидной формы (а) и ограниченной длины формы шарового сегмента (б). 1 – инструмент; 2 – пластичная заготовка

Решение задачи. Согласно [1] относительное давление на выступ инструмента подчиняется зависимости:

$$\frac{q}{2k_3} = \frac{[L_{AB}(\sin \delta + 0,5 \cos \delta) + 1,5h] \cos \alpha}{a}, \quad (1)$$

где q – давление на выступ; k_3 – пластическая постоянная материала заготовки; L_{AB} – длина перемещения выступа при пластическом контакте; h – глубина внедрения выступа; α – половинный угол при вершине выступа; δ – угол подъема линии разрыва скоростей.

Из данной зависимости следует, что относительное давление на выступ $q/2k_3$ возрастает с увеличением длины его перемещения относительно заготовки, уменьшением угла при вершине и ростом глубины внедрения выступа в заготовку.

В аналогичных условиях работы выступа ограниченной длины (например, шаровой сегмент, рис. 1,б) материал заготовки растекается в боковые стороны от него и не создает застойной зоны.

В работе [1] установлено, что максимальные нормальные напряжения $\sigma_{n,\max}$ на фронтальной поверхности шарового сегмента зависят только от пластической постоянной материала заготовки k_3 , коэффициента контактного трения μ , угла трения γ и не зависят от длины относительного перемещения инструмента и заготовки, то есть

$$-\frac{\sigma_{n,\max}}{2k_3} = 2,855 - \gamma + 0,5\sqrt{1 - 4\mu^2}. \quad (2)$$

Поэтому в условиях пластического течения материала заготовки по поверхности инструмента предпочтителен рельеф с выступами ограниченной длины, в частности в виде шаровых сегментов.

Применительно к разделительным процессам расчетным методом определена зависимость предельной нагрузки, воспринимаемой покрытием, от его толщины [2]:

$$\frac{P}{2k_{\text{п}}} = \frac{0,28t_{\text{п}}S - 0,13t_{\text{п}}^2 - 0,03S^2}{0,54S - 0,15t_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где P – нагрузка; $k_{\text{п}}$ – пластическая постоянная материала покрытия; $t_{\text{п}}$ – толщина покрытия; S – толщина заготовки.

По формуле (3) устанавливается предел нижних значений толщины покрытия с учетом силового нагружения и прочностных свойств материала заготовки.

В табл. 1 приведены расчетные значения предельной нагрузки, которую могут воспринимать покрытия.

Из расчетов следует, что с увеличением относительного значения толщины покрытия его несущая способность повышается. Следовательно, при уменьшении толщины слоя покрытия или увеличении толщины листовой заготовки нужно снижать рабочую нагрузку или повышать прочностные свойства материала поверхностного слоя.

Таблица 1. Расчетные значения предельной нагрузки, воспринимаемой покрытием

Относительная толщина покрытия t_n/S	Показатель относительной предельной несущей способности покрытия $x = \frac{P}{2k_n} / t_n$
0,50	0,33
0,25	0,25
0,17	0,15
0,12	0,04

При определении рациональных физических свойств поверхностного слоя инструмента исходили из широкой области механической обработки, при которой совокупность силового и теплового нагружения приводит к адгезионному взаимодействию материалов инструмента и заготовки, то есть их схватыванию. Для предотвращения схватывания при постоянном уровне силового нагружения необходимо уменьшить тепловое воздействие на контактную пару материалов быстрым отводом тепла в заготовку или его рассеяния от очага возникновения по поверхности контакта. Эта задача решается подбором материала инструмента или его поверхностного слоя со свойствами, значительно отличающимися по теплопроводности от материала заготовки [3].

В случае, если

$$\lambda_u \geq b\lambda_3, \quad (4)$$

где λ_u и λ_3 – коэффициенты теплопроводности материалов инструмента и заготовки соответственно, b – коэффициент различия теплопроводности ($b > 1,0$), то материал или поверхностный слой инструмента будет по отношению к заготовке проводником тепла и рассеет его по поверхности инструмента.

Если же

$$\lambda_u \leq \lambda_3 / b, \quad (5)$$

то материал или поверхностный слой инструмента является теплоизолятором, и тепло будет отводиться преимущественно в глубь обрабатываемого материала, что приводит к снижению температуры в зоне контакта.

Следовательно, для предотвращения схватывания материал или поверхностный слой инструмента должен отвечать условию:

$$\lambda_3 / b \leq \lambda_u \leq b\lambda_3. \quad (6)$$

Оптимальность указанного условия подтверждается экспериментальными данными, результаты которых приведены на рис. 2. Из графиков следует, что с увеличением различия материалов покрытия и заготовки по теплопроводности стойкость инструмента повышается.

Величина коэффициента различия теплопроводности b подбирается в соответствии с уровнем тепловой вспышки (значения максимальной локальной температуры), возникающей в зоне обработки, и временем ее существования.

Выполнение всего комплекса требуемых условий для повышения износостойкости инструментов механической обработки обеспечивается благодаря преимущественно электроискровому методу нанесения металлопокрытий. Исследования этого метода показали возможность использования его для варьирования в широких пределах рельефом обработанной поверхности и свойствами поверхностного слоя изделия из токопроводящего материала. При этом рельеф обра-

ботанной поверхности представляет собой совокупность плавно соединяющихся выступов, близких по форме к шаровому сегменту. Возможность использования в качестве электрода большинства токопроводящих материалов позволяет формировать покрытия с требуемыми физико-механическими свойствами (табл. 2).

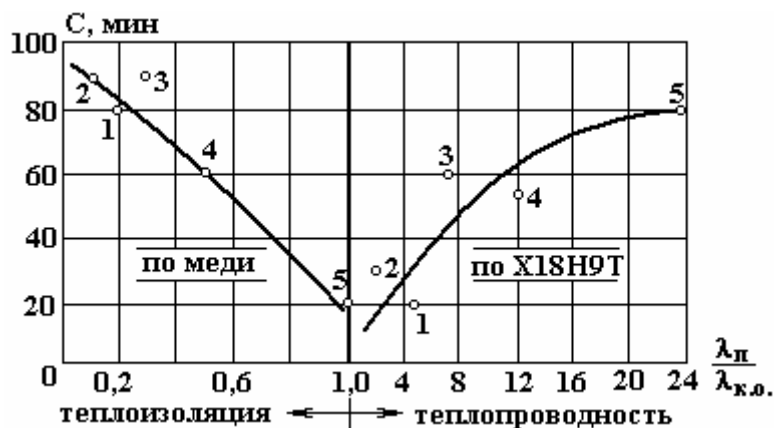


Рис. 2. Зависимость износа образцов инструмента из стали У8, легированных электроискровым способом свинцом, цинком, алюминием и медью, при обработке заготовок из меди и стали X18H9T

Увеличение рабочего тока при электроискровом нанесении покрытий ведет к росту толщины нанесенного слоя, высоты микронеровностей, среднего шага между ними, наиболее заметно оно сказывается на изменении относительной опорной поверхности в средней части выступов, то есть несущей способности поверхности. Повышение удельного времени обработки вначале способствует увеличению толщины нанесенного слоя и высоты микронеровностей, а затем их уменьшению; при использовании твердосплавных электродов – увеличению микротвердости покрытия. При увеличении удельного времени обработки может происходить уменьшение в два и более раза среднего шага между неровностями.

Таблица 2. Характеристики покрытий, нанесенных электроискровым методом

Характеристики покрытий	Значения
Толщина, мкм:	
– нанесенного слоя	5–400
– белого слоя	До 250
– переходного слоя	До 400
Микротвердость, МПа:	
– белого слоя	6000–16000
– переходного слоя	3000–5500
Параметры рельефа поверхности:	
– характер рельефа поверхности	Выпукло-вогнутый
– высота микронеровностей, мкм	Ra1,6–Rz360
– относительная высота выступов $h_{в}/r_{в}$	0,06–0,19
– относительное расстояние между выступами $S_{м}/H_{msx}$	5–9
Теплопроводность электродных материалов λ , Вт/(м·К)	10–400

Многолетним использованием на производстве различных инструментов для черновой и чистовой обработок резанием и давлением с упрочняющими электроискровыми покрытиями подтверждается эффективность приведенной методики оптимизации покрытий по геометрическим параметрам и физико-механическим свойствам [4].

Заключение. В условиях пластического течения материала заготовки по поверхности инструмента предпочтителен рельеф его рабочей поверхности с выступами ограниченной длины в виде шаровых сегментов.

С увеличением относительного значения толщины покрытия его несущая способность повышается. При уменьшении толщины слоя покрытия или увеличении толщины листовой заготовки нужно снижать рабочую нагрузку или повышать прочностные свойства материала поверхностного слоя.

Отрицательное воздействие тепловых явлений на контакте инструмент–заготовка можно снизить, увеличивая различие их теплофизических свойств.

Практика металлообработки методами резания и давления подтверждает эффективность электроискрового способа нанесения металлопокрытий для увеличения износостойкости инструментов, что обеспечивается за счет формирования на рабочей поверхности инструмента благоприятного рельефа из совокупности выступов ограниченной длины и придания его поверхностному слою рациональных физико-механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В.И.* Исследование деформационных явлений на поверхности контакта инструмента и заготовки в условиях пластического течения // Деп. в МолдНИИТЭИ, № 1516-М98 (Библиогр. указ. ВИНТИ “Депонированные научные работы”, № 5, 1998). Кишинев, МолдНИИТЭИ, 1998. 22 с.
2. *Тимощенко В.А., Иванов В.И.* Механика разрушения покрытия на рабочих поверхностях штампов // Электронная обработка материалов. 1988. № 5. С. 20–22.
3. *Тимощенко В.А., Иванов В.И.* Выбор электродных материалов в условиях применения процесса электроискрового легирования в инструментальном производстве // Безвольфрамовые порошковые твердые сплавы и карбидостали. Часть II. Таллин, 1985. С. 55–60.
4. *Бурумкулов Ф.Х., Иванов В.И.* Восстановление и упрочнение разделительных штампов / Труды ВНИИТУВИД, Москва, 1999. С. 203–215.

Поступила 28.03.06

Summary

Investigation of the influence of different factors on the strength of instrument is carried out. It is found that in the conditions of plastic current of the material of blank around the instrument surface a relief with protrusions of limited length in the shape of spherical segments is preferable. If a relative thickness of the coating increases then its supporting power increases. At decreasing of the thickness of coating or increasing of the thickness of the sheet blank it is necessary either to decrease the operating load or to increase strength properties of the surface layer of material. A negative influence of heat effects at the place of contact instrument–blank can be compensated by changing its thermophysical properties. Solution of this complex of problems is best achieved by electrospark deposition.
