

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОГО УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Ю. С. САМОТУГИНА, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т)

Показана возможность значительного повышения абразивной износостойкости высокопрочного чугуна при плазменной поверхностной обработке с нанесением упрочненного слоя дискретного строения. При этом степень повышения износостойкости зависит от режима обработки, направления перемещения плазматрона и относительной площади упрочненной поверхности.

Ключевые слова: плазменная поверхностная обработка, высокопрочный чугун, упрочненный слой, дискретное строение, износостойкость

Одним из наиболее перспективных методов поверхностного упрочнения деталей и инструмента из чугуна (прокатных валков, направляющих планок металлорежущих станков, коленчатых и распределительных валов и др.) является поверхностная обработка высококонцентрированной плазменной струей [1]. Благодаря значительному (до трех и более раз) повышению твердости поверхностного слоя при такой обработке достигается пропорциональное повышение износостойкости упрочненных деталей [2]. В то же время образование хрупких метастабильных структур при скоростной закалке чугуна (особенно при плазменной обработке с оплавлением поверхности) приводит к значительному снижению его вязкости разрушения [2, 3].

Применение концентрированного источника нагрева в отличие от традиционных методов поверхностного упрочнения (химико-термической обработки, индукционной закалки) позволяет получать поверхностный упрочненный слой как сплошного, так и дискретного строения при чередовании упрочненных зон с высокой твердостью и износостойкостью и неупрочненных с пониженной твердостью. Наличие на твердой поверхности детали локальных неупрочненных участков с относительно более высокой пластичностью и вязкостью позволяет значительно повысить трещиностойкость упрочненных деталей в процессе эксплуатации без снижения износостойкости. Локальные неупрочненные участки поверхности изнашиваются по механизму пластического отщеснения, в то время как соседние твердые участки — преимущественно по механизму хрупкого выкрашивания [2]. Кроме того, образование поверхностных микроуглублений на неупрочненных участках в процессе трения способствует улучшению условий смазывания, повышению сопротивления схватыванию и коррозии, сокращению периода приработки. В целом при сложных условиях внешнего нагружения (совместном воздействии высоких температур, механических нагрузок и агрессивных сред) упрочненные слои дискретного строения могут обладать

более высокой эксплуатационной надежностью в сравнении с покрытиями сплошного строения [4].

В процессе поверхностной обработки концентрированными источниками нагрева дискретное строение упрочненного слоя может быть получено не только наложением чередующихся твердых и мягких участков, но и путем выполнения обработки поверхности в направлении, перпендикулярном или расположенном под некоторым углом к направлению изнашивания.

Применительно к лазерной и электронно-лучевой поверхностной обработке сталей и сплавов известен ряд технологических приемов получения дискретного строения упрочненного слоя. В работе [5] обобщен опыт применения дифференцированной лазерной и электронно-лучевой обработки (наложением чередующихся твердых и мягких участков) сталей различных структурных классов — конструкционных, хромомарганцевых, мартенситостареющих, низкоуглеродистых. В зависимости от конкретных условий эксплуатации деталей дифференцированная обработка способствует дополнительному повышению характеристик прочности, вязкости, износостойкости. На примере лазерной закалки с оплавлением поверхности деталей станков из серого чугуна [6] установлено, что оптимальной схемой нанесения закаленных дорожек является расположение их под углом 45° к направлению трения скольжения. С увеличением расстояния между упрочненными дорожками (шага обработки) в пределах 4...16 мм (диаметр луча 3 мм) износостойкость снижается. Установлено также [7], что при лазерной обработке цилиндрических образцов из чугуна СЧХНМД наложением дорожек шириной 2...3 мм с шагом 10 мм более высокая износостойкость достигается при расположении дорожек под углом 45° к продольной оси по сравнению с расположением под углом 90° . В работе [8] выполняли обработку с оплавлением поверхности плоских и цилиндрических направляющих станков из серого чугуна с нанесением различных «рисунков» упрочнения (в виде спирали, петли, волны и т. д.) при различной относительной площади упрочненных участков. Установлено, что при увеличении площади упрочненной поверхности в пределах 20...50 % износостойкость образцов значительно повышается (в 2...3 раза). С увеличением площади дорожек



Режимы плазменного упрочнения и характеристики упрочненной зоны чугуных образцов

Вариант обработки поверхности	Ток плазменной струи I, А	Скорость перемещения плазматрона v, м/ч	Толщина упрочненной зоны, мм	Твердость поверхности HV
Без оплавления	400	27	2,7	800
С оплавлением	400	18	3,4	790

более 50 % существенного повышения износостойкости не происходит. Вместе с тем, принятые в работах [6–8] пределы варьирования геометрических и технологических параметров лазерной обработки не позволяют сделать научно обоснованные выводы о предпочтительности той или иной технологии для широкого спектра чугуных деталей и условий их эксплуатации. В литературе полностью отсутствуют данные и об эффективности получения дискретного строения упрочненного слоя при плазменной обработке, имеющей существенные отличия от лазерной — значительно большие размеры упрочненной зоны (ширина не более 15 мм, глубина не более 5 мм [1]), более развитая структурная неоднородность. Кроме того, предварительными исследованиями установлено [2], что наиболее высокая абразивная износостойкость достигается при плазменной обработке высокопрочного чугуна без оплавления поверхности, что обусловлено высокой хрупкостью квазиледебурита зоны плазменного оплавления и хрупкими микроразрушениями поверхности оплавленного слоя под действием абразивных частиц.

В настоящей работе представлена разработка технологических принципов плазменного упрочнения деталей из высокопрочного чугуна с целью получения упрочненного слоя дискретного строения с высокой работоспособностью в условиях аб-

разивного изнашивания. Плазменную обработку плоских образцов размером 50×60×15 мм из чугуна ВЧ-80 выполняли плазматроном косвенного действия с секционированной межэлектродной вставкой [1] на режимах, приведенных в таблице.

Из таблицы видно, что плазменная обработка высокопрочного чугуна с оплавлением поверхности при практически одинаковой твердости поверхности обеспечивает увеличение толщины упрочненной зоны в сравнении с обработкой без оплавления. Микроструктура упрочненной зоны (зоны плазменного воздействия) при обработке без оплавления состоит из высокодисперсного мартенсита, остаточного аустенита (не более 15 %) и полностью сохранившегося графита [1]. При оплавлении происходит растворение графитной фазы в расплавленной матрице (учитывая очень высокую скорость охлаждения) и закалка из жидкого состояния с образованием поверхностного слоя белого чугуна со структурой квазиледебурита — высокодисперсной аустенитно-цементитной эвтектики (содержание остаточного аустенита не более 50 %).

Выбор технологии плазменной обработки при нанесении упрочненного слоя дискретного строения зависит от формы упрочняемой детали. При упрочнении деталей плоской формы образование твердых и мягких участков возможно при возвратно-поступательном перемещении плазматрона вдоль или поперек рабочей поверхности (в зависимости от выбранной ориентировки направления упрочнения по отношению к направлению износа) с дискретным смещением оси движения плазматрона на величину шага, превышающую ширину единичной упрочненной зоны. Аналогичный принцип используется при плазменной обработке деталей цилиндрической формы в случае перемещения плазматрона вдоль образующей. Плазменная обработка цилиндрических деталей возможна и при перемещении плазматрона по спирали. В этом случае величина зазора (мягкого участка) между упрочненными дорожками регулируется подбором скорости вращения детали и скорости перемещения плазматрона. Дискретное строение рабочей поверхности детали при упрочнении деталей как плоской, так и цилиндрической формы может быть получено с нанесением твердых и мягких участков в виде параллельных полос (рис. 1, а); перекрестной насечки (рис. 1, б, в), когда локальные мягкие участки имеют ограниченную конфигурацию квадрата (при перпендикулярном перекрестном движении плазматрона) или ромба (при неперпендикулярном перекрестном движении). Возможно получение дискретного строения упрочненного слоя и с нанесением упрочненных зон в виде круга (рис. 1, г), эллипса, треугольника и т. п. В этом случае между поверхностью детали и плазматроном располагается защитный экран из тугоплавкого материала с отверстиями заданной формы.

Для моделирования изнашивания рассмотренных выше случаев получения упрочненного слоя дискретного строения проводили испытания четырех групп образцов (рис. 2):

а) плазменная обработка без оплавления поверхности выполняется в направлении, совпада-

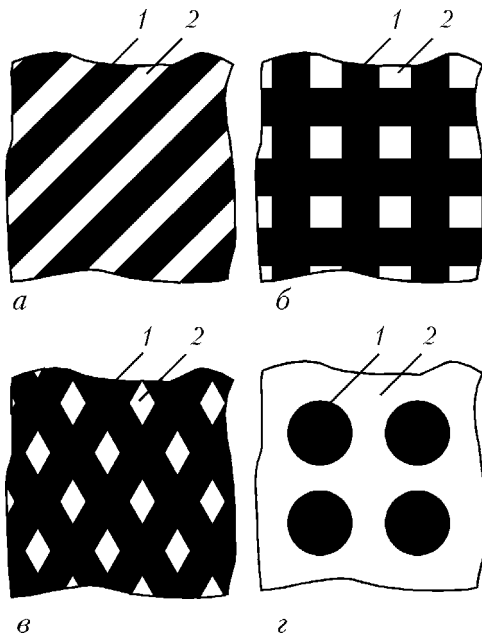


Рис. 1. Дискретное строение рабочей поверхности детали с нанесением упрочненных зон в виде параллельных полос (а), перекрестной насечки (б, в), круга (г): 1, 2 — соответственно твердые и мягкие участки

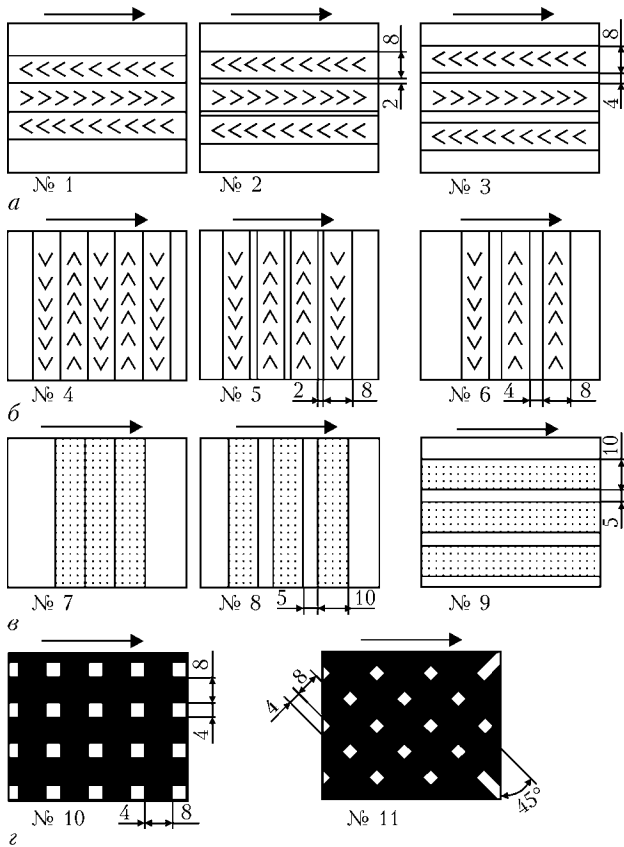


Рис. 2. Схемы плазменной обработки (а-з) образцов (№ 1–11) для испытаний на абразивное изнашивание (стрелкой указано направление изнашивания)

ющем с направлением изнашивания; образцы без зазора между упрочненными зонами (№ 1) и с зазором, величина которого составляет 1/4 (№ 2) и 1/2 (№ 3) ширины упрочненной зоны;

б) плазменная обработка без оплавления поверхности выполняется в направлении, перпендикулярном направлению изнашивания; образцы без зазора (№ 4) и с зазором, равным соответственно 1/4 (№ 5) и 1/2 (№ 6) ширины упрочненной зоны;

в) плазменная обработка с оплавлением поверхности выполняется в направлении, перпендикулярном (№ 7, 8) и совпадающем (№ 9) с направлением изнашивания; образцы без зазора (№ 7) и с зазором (№ 8, 9), величина которого равна 1/2 ширины упрочненной зоны;

г) плазменная обработка выполняется при перекрестном перемещении плазматрона в перпендикулярном направлении (№ 10) и в направлении, составляющем угол 45° с направлением изнашивания (№ 11); в обоих случаях величина зазора составляла 1/2 ширины упрочненной зоны.

Испытания образцов на изнашивание проводили по методике Хаворта–Бринелля, в качестве абразива использовали морской песок. Испытания каждого типа образцов проводили в течение 1,5 ч с промежуточным взвешиванием через каждые 0,5 ч. По результатам испытаний строили кинетические диаграммы изнашивания и рассчитывали коэффициент износостойкости по формуле $K_{и} = \Delta m_0 / \Delta m_3$, где Δm_0 и Δm_3 — соответственно потери массы исследуемого образца и образца-эталоны

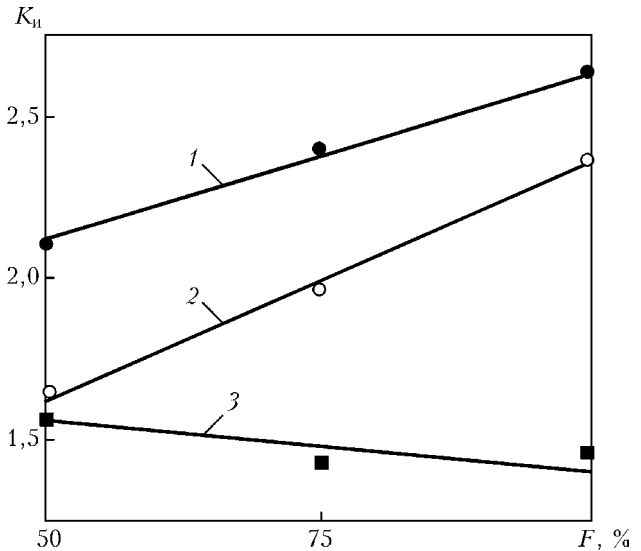


Рис. 3. Влияние относительной площади упрочненной поверхности F на коэффициент износостойкости образцов $K_{и}$: 1, 2 — обработка без оплавления соответственно перпендикулярно и вдоль направлению изнашивания; 3 — обработка с оплавлением перпендикулярно направлению изнашивания

при трении в заданных условиях и в течение заданного времени. В качестве эталона испытывали образцы аналогичных размеров из чугуна ВЧ-80 в исходном (неупрочненном) состоянии. В зависимости от номера образца рассчитывали коэффициент абразивной износостойкости образцов из чугуна ВЧ-80 после плазменной обработки: 1 — 2,35; 2 — 1,95; 3 — 1,75; 4 — 2,57; 5 — 2,40; 6 — 2,08; 7 — 1,38; 8 — 1,62; 9 — 1,44; 10 — 2,87; 11 — 3,15.

Испытания показали, что при упрочнении в направлении, перпендикулярном направлению изнашивания износостойкость образцов после плазменной обработки без оплавления поверхности выше, чем при упрочнении вдоль направления изнашивания. В обоих случаях с увеличением относительной площади упрочненной поверхности, т. е. с уменьшением величины зазора между дорожками, коэффициент износостойкости увеличивается (рис. 3). При упрочнении с оплавлением поверхности установлена обратная зависимость. В этом случае при обработке без зазора между дорожками и поперек направлению изнашивания установлена самая низкая износостойкость в данном эксперименте, что можно объяснить охрупчиванием поверхности, образованием микротрещин в местах концентрации напряжений у микровыступов на поверхности оплавленной зоны и отделением микрочастиц чугуна под действием частиц абразива [2]. Наличие промежуточных мягких участков при обработке с зазором между оплавленными дорожками в некоторой степени снижает микрорастрескивание и незначительно повышает износостойкость (рис. 3). Наиболее высокий коэффициент износостойкости имеют образцы при обработке без оплавления при перекрестном движении плазматрона, особенно в случае, когда направление обработки составляет угол 45° с направлением изнашивания.



Проведенные исследования показали, что путем изменения относительной площади упрочненной поверхности, варьирования направлением обработки по отношению к направлению изнашивания, выбором оптимальных режимов плазменной обработки с нанесением упрочненного слоя дискретного строения, можно в достаточно широких пределах изменять эксплуатационные свойства и в зависимости от конкретных условий нагружения достигать наиболее благоприятного сочетания износостойкости и трещиностойкости рабочей поверхности деталей из высокопрочного чугуна.

Установленные принципы плазменной обработки деталей из высокопрочного чугуна с нанесением упрочненного слоя дискретного строения реализованы на практике для упрочнения направляющих планок металлорежущих станков и валков для измельчения зерна [9]. В первом случае обработка выполняется с нанесением параллельных упрочненных дорожек (см. рис. 1, а). При оптимальном соотношении площади неупрочненных и упрочненных участков $1/3 \dots 1/4$ достигается повышение износостойкости планок не менее чем в 3 раза. При упрочнении валков диаметром 200...250 мм более предпочтительно перекрестное перемещение плазматрона под углом 45° к осевой линии (см. рис. 1, в; рис. 2, № 11) с получением ограниченных мягких участков, размер которых примерно равен размеру единичного зерна (пшеница, ячмень, кукуруза). В этом случае наряду с повышением износостойкости валков в 2...2,5 раза улучшается захват зерна и повышается производительность измельчения.

Выводы

1. Плазменная обработка деталей и инструмента из высокопрочного чугуна с нанесением упрочненного слоя дискретного строения способствует значительному повышению абразивной износостойкости. При этом коэффициент износостойкости зависит от относительной площади упрочненной поверхности, технологии обработки (с оплавлением поверхности или без оплавления), соотношения направления обработки к направлению изнашивания.

2. С увеличением относительной площади упрочненной поверхности коэффициент абразивной износостойкости при плазменной обработке без оплавления увеличивается, а при обработке с оплавлением снижается. Это можно объяснить высокой хрупкостью оплавленного слоя со структурой квазицедебурита и микрорастрескиванием под действием абразивных частиц.

3. Более высокая износостойкость упрочненного слоя дискретной структуры достигается при перемещении плазматрона в направлении, перпендикулярном направлению изнашивания по сравнению с обработкой вдоль направления изнашивания. Наиболее высокая износостойкость достигается при перекрестном перемещении плазматрона, когда направление обработки составляет с направлением изнашивания угол 45° .

1. *Самотугин С. С., Лецинский Л. К.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов. — Донецк: Новый мир, 2002. — 338 с.
2. *Самотугин С. С., Малинов Л. С., Самотугина Ю. С.* Повышение износостойкости высокопрочного чугуна плазменным поверхностным упрочнением // Вест. Приазов. гос. техн. ун-та. — 2004. — Вып. 14. — С. 161–164.
3. *Самотугин С. С., Малинов Л. С., Самотугина Ю. С.* Влияние способа упрочнения на твердость и трещиностойкость высокопрочного чугуна // Там же. — 2002. — Вып. 12. — С. 76–80.
4. *Ляшенко Б. А., Кузема Ю. А., Дигам М. С.* Упрочнение поверхности металлов покрытиями дискретной структуры с повышенной адгезионной и когезионной стойкостью / НАН Украины. Ин-т пробл. прочности. — Препр. — Киев, 1984. — 57 с.
5. *Малинов Л. С.* Получение микронеоднородной регулярной структуры в сталях методами дифференцированной обработки // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1997. — № 4. — С. 7–11.
6. *Лазерная закалка чугуновых деталей станков / В. И. Самсонов, В. С. Ан, А. Г. Шныпкин, П. Ю. Бойцов* // Там же. — 1989. — № 11. — С. 6–9.
7. *Асташкевич Б. М., Воинов С. С., Шур Е. А.* Лазерное упрочнение втулок цилиндров тепловозных дизелей // Там же. — 1985. — № 4. — С. 12–15.
8. *Якитас Э. В., Ситавичюс Ч. Ю., Капаненас Р. В.* Исследование лазерного термоупрочнения чугуновых направляющих станков // Лазерная технология. — 1989. — № 7. — С. 21–31.
9. *Повышение износостойкости чугуновых деталей дифференцированной (дискретной) плазменной обработкой / С. С. Самотугин, Л. С. Малинов, Ю. С. Самотугина, Б. А. Ляшенко* // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы междунар. науч.-техн. конф. — Киев: АТМ Украины. — 2002. — С. 158–161.

A possibility is shown of a considerable increase of abrasive wear resistance of high-strength cast iron in plasma surface treatment with deposition of a strengthened layer of a discrete structure. The extent of increase of the wear resistance depends on the treatment mode, direction of plasmatron displacement and relative area of the strengthened surface.

Поступила в редакцию 06.12.2004