

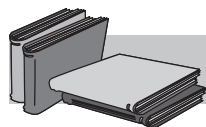
относительное удлинение, твердость) и металлографические (содержание графита в шаровидной форме, содержание структурных составляющих и т. д.) характеристики образцов из труб чугуна, обработанного экспериментальной и сравнительной проволоками с нормативными расходами, аналогичны. Использование экспериментальной проволоки не привело к повышению уровня дефектности отливаемых труб. Массовый расход порошковой проволоки с наполнением смесью магния и карбида кремния металлургического для обеспечения одинаковых качественных показателей модифицирования чугуна аналогичен расходу проволоки с наполнением магнием + ферросилиций. При этом затраты на модифицирование экспериментальной проволокой в рассматриваемый период были ниже на 5-10 %.

Высокая эффективность использования этой проволоки обусловлена тем, что при вводе проволоки с наполнением смесью магния и материала, содержащего кремний, в жидкий металл внутри проволоки происходит эндотермическая реакция между магнием и кремнием с образованием силицида магния Mg_2Si и расположением части магния в мелких эвтектических областях, что, с одной стороны, позволяет снизить температуру в зоне реакции и, соответственно, угар магния, а с другой стороны – образующийся силицид магния растворяется в жидком металле быстрее, чем образующие матрицу

сплава более тугоплавкие фазы [6]. Поэтому возникающие в глубине металла пузырьки пара магния формируются в результате растворения каждой из эвтектических областей в отдельности, причем из-за малого количества магния в каждой из областей образующиеся пузырьки будут иметь малые размеры и большую площадь поверхности раздела с обрабатываемым металлом, что приводит к относительно спокойному протеканию процесса при высокой его эффективности. При этом за счет того, что на протекание этих химических реакций расходуется определенное количество тепла, время расплавления оболочки проволоки увеличивается, что дает ей возможность погружаться на большую глубину и реакцией взаимодействия магния с расплавом будет охвачен максимальный объем металла в ковше. Кроме того, совместное действие кремния и углерода как графитизирующих элементов положительно влияет на структуру металла.

Вывод

Таким образом, разработанная технология обеспечивает стабильное содержание остаточного магния более 0,025 % на протяжении всего цикла отливки труб, позволяет значительно увеличить эффективность использования магния, существенно снизить затраты на модифицирование, при этом трубы соответствуют всем нормативным требованиям по микроструктуре и механическим свойствам.



ЛИТЕРАТУРА

1. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2007. – 528 с.
2. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Производство стали. Т. 2 // Внепечная обработка жидкого чугуна. – М.: Теплотехник, 2008. – 400 с.
3. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А., Минченков А. В. Внепечная обработка чугуна порошковыми проволоками // Тр. IX конгресса сталеплавильщиков. – М.: ОАО «Черметинформация». – 2007. – С. 567-571.
4. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А., Минченков А. В. Модифицирование чугуна порошковой магниесодержащей проволокой // Металл и литье Украины. – 2006. – № 6. – С. 11-14.
5. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А. и др. Технология модифицирования чугуна при отливке труб // Чер. металлургия: Бюл. научно-технической и экономической информации – 2006. – Вып. 2. – С. 51-54.
6. Зборщик А. М., Кисиленко В. В., Маринцев С. Н. Исследование механизма реакций при десульфурации чугуна лигатурами ФСМГ // Сталь. – 1998. – № 9. – С. 13-16.

УДК 621.375.826

А. П. Шатрава (ФТИМС)

Разработка покрытий, полученных под действием лазерного излучения для повышения стойкости подшипника упорного двигателя внутреннего сгорания

В последнее время все больше исследователей уделяет внимание вопросам получения износостойких композиционных наплавленных покрытий с помощью лазерного излучения [1-3]. Исследователи [4] получали композиционные покрытия методом лазерного легирования сталей и

Разработана и опробована технология нанесения антифрикционных износостойких покрытий с помощью лазерного излучения на рабочие поверхности подшипника упорного системы турбо наддува двигателя внутреннего сгорания

сплавов. Установлено, что лазерное легирование позволяет создать в поверхностных слоях основы

композиционные антифрикционные покрытия с повышенной твердостью (до 30-50 %), теплостойкостью (до 50-70 %) и износостойкостью (в 1,5-2 раза).

Увеличивается количество исследований по разработке наплавочных покрытий на основе цветных металлов [4-7]. Композиционные наплавочные покрытия на базе алюминиевых сплавов, армированных керамическими частичками, являются перспективными для широкого применения в различных областях машиностроения благодаря совмещению в них уникальных свойств: легкости, большой удельной твердости и прочности, размерной стабильности, износостойкости и т.п. Известны примеры успешной работы таких композиционных наплавочных покрытий в составе пар трения скольжения. При этом износостойкость таких покрытий существенно выше, чем подшипниковых бронз или антифрикционных силуминов.

Таким образом, многими исследователями подчеркивается высокая эффективность методов лазерного легирования, упрочнения и наплавки. Однако общее количество таких работ недостаточно из-за сложности получения композиционных покрытий и отсутствия научно-технической базы для их создания, а также практически полностью отсутствуют работы по созданию композиционных покрытий, у которых основа и включения – металлические.

Для использования разработанной технологии в промышленности в качестве примера был выбран типичный представитель детали типа «втулка» – подшипник упорный, который применяется в конструкции турбокомпрессора типа KTR-130-9G, выпускаемой фирмой «Камацу» (Япония). Изнашивание рабочих поверхностей подшипника происходит в процессе скольжения поверхностей трения в условиях действия высоких температур нагрева в агрессивной-абразивно-окислительной среде. Этому способствуют высокая частота вращения турбины (60-70 тыс. об/мин) и удары, возникающие при переключении скоростей компрессора. Смазка почти не удерживается на контактных поверхностях из-за высокой скорости вращения. Поскольку изнашиванию подвергается только узкий поверхностный слой, очевидно, что экономически целесообразно всю деталь изготавливать из недорогой стали, а на рабочие участки поверхности нанести покрытие [8-9].

Величина износа рабочих поверхностей подшипни-

ков, изготовленных по базовой технологии 0,3-0,4 мм. А при использовании лазерных антифрикционных покрытий (исходя из опыта применения [10]) – 0,1-0,15 мм. При такой величине износа имеется возможность последующего восстановления размеров изношенных деталей и, за счет этого, многократного продления срока службы.

Важным требованием к рабочей поверхности является ее твердость и прочность для сопротивления высоким нагрузкам и прочность сцепления покрытия с основой. С точки зрения прочности сцепления покрытия с основой наиболее эффективным является способ лазерной наплавки. А из-за отсутствия смазки в процессе эксплуатации, наиболее эффективными являются антифрикционные покрытия из композиционных составов.

Цель работы: разработка и оптимизация технологии лазерной наплавки покрытий из композиционных материалов на основе Fe-Cr-Cu для реализации данного технологического процесса нанесения покрытий на рабочие поверхности подшипника упорного системы турбо наддува двигателя внутреннего сгорания с целью повышения его эксплуатационной стойкости.

Методика проведения исследований. Лазерная наплавка порошков из композиций сталь 9X18 и бронза ОЦС в объемном соотношении, %: сталь – 30; бронза – 70 (по результатам [10]), проводилась в среде инертного газа (Ar), который использовался в качестве транспортирующего (расход газа $G_r = 20-30$ л/ч) при подаче порошка дисперсностью 50-100 мкм.

Присадочный порошок подавали под углом 45° к оси лазерного излучения вслед движению лазерного луча (рис. 1), расход которого изменялся в пределах ($G_{nv} = 2-5$ см³/мин или $G_{nm} = 7,7-22,2$ г/мин). Тепловой источник плотностью мощности $W_p = (1 \div 5) \times 10^8$ Вт/м² перемещался со скоростью $v = 4-20$ мм/сек, обеспечивая получение наплавочных валиков шириной 1,5-2,5 мм, и высотой 1-1,5 мм. Наплавка осуществлялась на подложку из стали 3 в виде колец для испытаний на изнашивание, площадью 1 см².

Структурно-фазовые исследования проводились на микроскопе «Karl Zeiss Jena», а также на дифрактометре ДРОН-3М в Fe-Ka излучении и на оптическом микроскопе. Для повышения достоверности качественного фазового анализа на дифрактометре образец вращали.

Испытания на изнашивание проводились в режиме

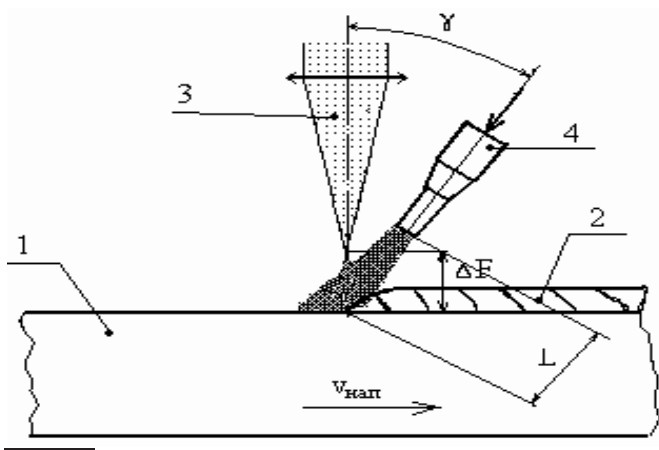


Рис. 1. Схема лазерной наплавки с подачей порошка вслед движению луча. 1 - образец, 2 - наплавленный валик, 3 - лазерное излучение; 4 - сопло подачи порошка

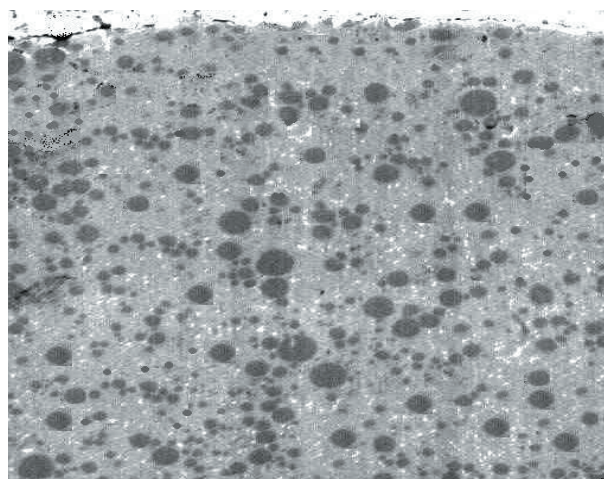


Рис. 2. Распределение по глубине покрытия стальных включений (30 % сталь + 70 % бронза). Высота покрытия – 1,95 мм (X 300)

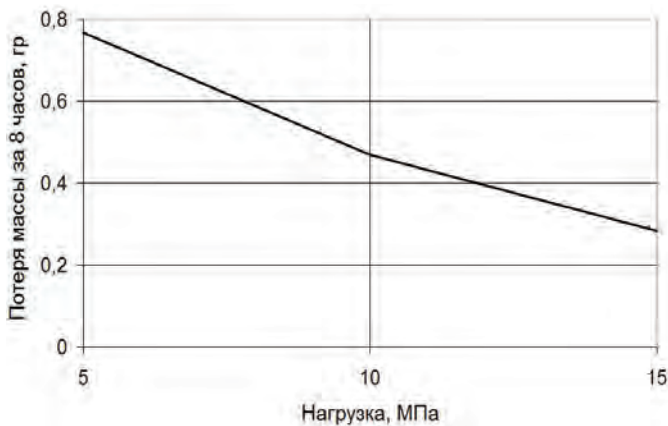


Рис. 3. Потеря массы покрытия состава (30 % сталь + 70 % бронза)

сухого трения с нагрузками 5,1-15,3 МПа, при скорости трения – 20 мм/сек. В качестве контртела использовалась сталь У8.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные покрытия подвергались структурно-фазовым исследованиям, испытаниям на твердость и износостойкость.

Композиционные покрытия состава, %: сталь 9Х18 – 30; бронза ОЦС – 70 (рис. 2) представляют собой матрицу из медного сплава со стальными глобулярными включениями дисперсностью 30-60 мкм, равномерно распределенными по глубине покрытия.

Микротвердость стальной фазы составляет 5500-6000 МПа на поверхности и 3500-4000 МПа на глубине 1,5 мм. Повышение микротвердости стальной фазы в верхней части покрытия объясняется ее упрочнением в процессе быстрого нагрева и охлаждения покрытия (закалка из жидкого состояния).

При испытаниях на изнашивание характерно существенное повышение износостойкости при больших нагрузках (рис. 3). Существенное повышение износостойкости и уменьшение времени приработки объясняется снижением коэффициента трения между трущимися поверхностями. Это подтверждается также, данными структурно-фазового анализа, которые

Таблица 1
Исходные данные для разработки процесса наплавки подшипника.

Параметр	Значение
Материал основы детали	сталь 45
Температура плавления, $T_{пл}$	1300 °С
Температура кипения, T_k	1740 °С
Коэффициент температуропроводности, a_1	0,07 см ² /с
Коэффициент теплопроводности, K_1	0,314 Вт/см · град
Теплоемкость, C_{p1}	4,483 Дж/см ³ · град
Наплавляемый материал (порошок)	ст.9Х18-30 % + бр.ОЦС-70%
Дисперсность порошка, d_n	60-80 мкм
Температура плавления порошка, $T_{пл}$	967 °С
Коэффициент температуропроводности, a	0,21 см ² /с
Коэффициент теплопроводности, K	3,1 Вт/см · град
Теплоемкость, C_p	1,67 Дж/см ³ · град
Плотность, g	8,95 г/см ³
Масса детали, M_0	0,32 кг
Толщина наплавляемого слоя, h_n	0,5 мм

свидетельствуют о наличии мягкой фазы на поверхности трения. Полученная структура в этих соотношениях твердого и мягкого материалов напоминает так называемую структуру «Шарпи», которая, как известно из теории трения, характеризуется наиболее высокими триботехническими показателями и является наиболее износостойкой [11-12]. Напомним, что все испытания проводились без смазки. Испытания на изнашивание показали, что повышение износостойкости позволяет предположить, что роль твердой смазки в данном случае играет бронза.

Для разработки технологического процесса лазерной наплавки подшипника упорного используем следующие исходные данные (табл. 1).

Таблица 2
Исходные данные для расчета величины расхода порошка.

Параметр	Значение
Толщина наплавляемого слоя, h_n	0,5 мм
Ширина наплавляемого валика, b	2,2 мм
Плотность материала, g	8,95 г/см ³
Коэффициент использования порошка, K_u	0,8

Исходные данные для численного расчета расхода порошка дозирующего устройства приведены в табл. 2.

Объем наплавляемого валика:

$$V_e = \frac{\pi \cdot b^2}{4} \cdot h_n = \frac{3,14 \cdot 0,222^2 \cdot 0,05}{4} = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3.$$

Масса наплавляемого валика:

$$M_e = V_e \cdot g = 1,94 \cdot 10^{-3} \cdot 8,95 = 0,0174 \text{ г.}$$

Расход дозирующего устройства:

$$G = \frac{M_e}{t_n \cdot K_u} = \frac{0,0174}{0,221 \cdot 0,8} = 0,1 \text{ г/с.}$$

Рассчитаем зависимость высоты наплавляемого валика от расхода порошка:

$$h_n = \frac{4 \cdot t_n \cdot K_u}{\pi \cdot b^2} \cdot G = \frac{4 \cdot 0,221 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,222^2 \cdot 8,95} \cdot G = 0,511 \cdot G.$$

Анализируя полученные данные с точки зрения размеров получаемых покрытий, выбираем оптимальные режимы лазерной наплавки: плотность мощности – $W_p = 5 \cdot 10^8$ Вт/м²; скорость обработки – $v = 13-15$ мм/с; диаметр пятна фокусирования – $d_n = 2,2-2,5$ мм

При определении режима обработки в зависимости от расхода порошка, необходимо ввести поправочный коэффициент, так как скорость обработки определяется при различных временах обработки, а расход – при одном $t_n = 0,221$ с.

$$G = G_1 \cdot K_r,$$

где G – истинный расход порошка; G_1 – расход порошка из зависимости; K_r – поправочный коэффициент.

$$K_r = \frac{t}{t_1},$$

где $t_1 = d / V_1$:

Таблица 3
Значения диаметра наплавки, скорости вращения заготовки и времени воздействия лазерного излучения в процессе лазерной наплавки

d_p , мм	n_p , об/мин	T_p , с
2,2	11,2	5,36
2,47	10	6,0
2,73	9,02	6,65
2,99	8,27	7,3
3,264	7,55	7,95
3,53	6,98	8,59
3,796	6,5	9,24
3,072	6,07	9,89
4,328	5,7	10,54
4,594	5,37	11,18
4,86	5,07	11,83

$h = 0,01$; $t = 0,284 / 1,8 = 0,158$;

$K_r = 0,221 / 0,158 = 1,399$; $G = 0,019 \cdot 1,399 = 0,026$.

Газопорошковая наплавка применяется на одной из промежуточных стадий изготовления подшипника. Покрытие наносится на заготовку для лазерной наплавки (рис. 4). В соответствие с рассчитанными режимами и выбранной технологической схемой обработки уточняем значения подач и частоты вращения детали. Значение коэффициента перекрытия принимаем равным $K_n = 0,6$.

Шаг смещения зон наплавки в этом случае равен:

$$S = K_n \cdot b = 0,6 \cdot 0,222 = 1,33 \text{ мм.}$$

Обработка производится с переходом от меньшего диаметра к большему по схеме обработки (рис. 4).

Скорость вращения стола с заготовкой можно определить как

$$n_i = \frac{V}{\pi \cdot d_i},$$

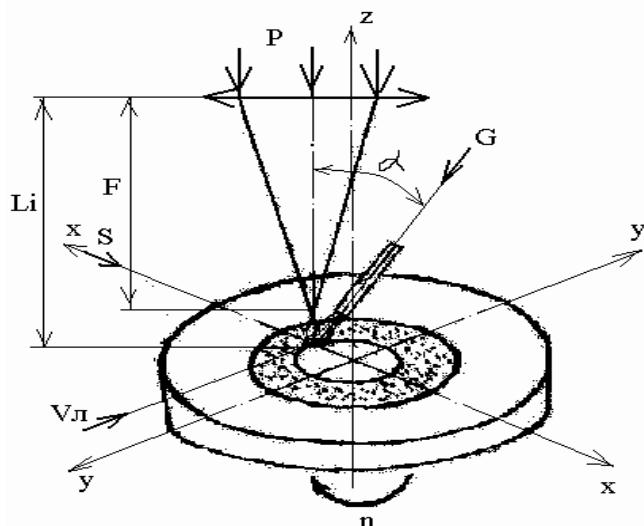
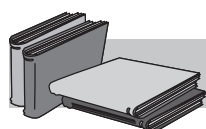


Рис. 4. Схема лазерной наплавки подшипника упорного



ЛИТЕРАТУРА

- Chen Yao, Wang Huaming. Микроструктура композиционного покрытия TiC / FeAl, полученного лазерным плакированием, и механизм роста первичного карбида TiC // Хгую jинshu саiляо уу gongcheng. – Rare Metal Mater, and Eng. – 2003. – 32. – № 7. – С. 569-572.
- Толочко Н. К., Аршинов М. К., Ядройцев И. А. Закономерности формирования порошковых покрытий под действием лазерного излучения // Перспективные материалы. – 2004. – № 6. – С. 63–69.

где $V = 12,9 \text{ мм/с} = 77,4 \text{ см/мин}$ – линейная скорость наплавки; d_i – диаметр, на котором проводится наплавка.

В процессе обработки диаметр d_i будет постоянно изменяться. Для обеспечения постоянства линейной скорости наплавки необходимо менять частоту вращения детали n_i (табл. 3).

Таким образом, заготовка обрабатывается за 11 оборотов при радиальной подаче

$$S_n = 1,33 \text{ мм/об.}$$

Для снижения шероховатости поверхности целесообразно предусмотреть последующую обработку наплавленной поверхности без подачи порошка в режиме оплавления при более высокой скорости.

В данном процессе такая обработка не предусматривается, поскольку после наплавки слоя толщиной 0,5 мм предусматривается механическая чистовая обработка – точение на глубину 0,2 мм [13-14].

Выводы

На основании проведенных исследований получены следующие результаты:

- Определены преимущества лазерной газопорошковой наплавки как наиболее эффективного метода получения антифрикционных композиционных покрытий на основе Fe-Cr-Cu типа: мягкая матрица – твердые включения.

- Для повышения эксплуатационной стойкости подшипника упорного системы турбонаддува двигателя внутреннего сгорания, определены его конструкционные параметры, проанализированы с точки зрения условий эксплуатации, величины нагрузок, среда и тип изнашивания, а также допуски на износ рабочих поверхностей.

- Исходя из условий эксплуатации деталей в промышленных условиях, были уточнены режимы лазерной наплавки композиционных материалов, а также разработаны схемы реализации технологического процесса с возможностью многослойного нанесения антифрикционных покрытий.

- На примере данной детали (подшипник упорный), эксплуатирующейся в тяжелых условиях износа с невозможностью подачи смазки на изнашиваемую поверхность, показана возможность использования антифрикционных покрытий, которые существенно повышают эксплуатационную стойкость рабочих поверхностей этих деталей, а также долговечность узлов и агрегатов в целом.

- В результате исследований показано, что композиционные лазерные покрытия возможно наносить на рабочие поверхности опытных партий деталей, которые эксплуатируются в промышленных условиях.

- Сравнительный анализ результатов испытаний обработанных деталей с исходными, показал существенное (1,5-2 раза) повышение стойкости первых, что может дать существенный экономический эффект.

3. Чернышова Т. А., Кобелева Л. И., Лемешева Т. В. Дисперсно наполненные композиционные материалы на базе антифрикционного силумина для узлов трения скольжения // Перспективные материалы. – 2004. – № 3. – С. 69-75.
4. Yang Yongqiang, Hau Chung Man. Zhongguo jiguang. Микроструктура и свойства покрытия из композита SiC / нержавеющая сталь, полученного плакированием Nd: YAG-лазером. – A=Chin. J. Lasers. - A. – 2000. – 27. – № 10. – С. 941-946.
5. Чудина О. В. Азотирование стали, легированной при лазерном нагреве // Металловед, и терм., обраб. мет. – 2004. – № 1. – С. 35-40.
6. Вайнерман А. Е., Попов В. О., Колганов Б. Д. и др. Триботехнические композиционные материалы, полученные с помощью лазерной обработки поверхности // Вопросы материаловедения. – 2001. – № 2. – С. 159-165.
7. LUO Shou-jing, Jiang ju-fu, WANG Ying. Interface and microstructure characteristics of SiCp / Aluminium alloy composite. Trans. Nonferrous Met.Soc.China. – 2004. – V. 13. – № 1. – P. 135-139.
8. Chernyshova T. A., Kobleva L. I., Plishkin D. N. Trans. IWRI, 2001. – V. 30. – Special Issue: HTC – 2000, – P.529-534.
9. Тушинский Л. И. Потерпев Ю. П. Проблемы материаловедения в трибологии. – Новосибирск: НЭТИ, 1991. – 63 с.
10. Шатрава А.П. Физико-механические характеристики покрытий сталь-бронза, полученных с помощью лазерной наплавки // Автоматическая сварка. – 2002. – № 5. – С. 60-61
11. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техніка, 1970. – 395 с.
12. Костецкий Б. И., Колесниченко Н. Ф. Качество поверхности и трение в машинах. – Киев: Техніка, 1969. – 215 с.
13. Шатрава А. П., Скрипка Н. М. Лазерні покриття з аморфізованих, мікрокристалічних і композиційних матеріалів // Металознавство та обробка металів. – 2003. – № 2. – С. 18-20.
14. Лихошва В. П., Шатрава А. П., Бондарь Л. А. Лазерное легирование узлов трения // Процессы литья. – 2007. – № 3. - С. 35-38.

Summary

A.P.Shatrava

ANTIFRICTION AND WEAR-RESISTANCE COVERS, METHODS OF INVESTIGATIONS, COMPOSITE SYSTEMS, OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS, DENSITY OF POWER

Is worked out and tested technology of hard-facing of antifriction and wear-resistance covers with application of laser beam on working surfaces of bearing-persistent turbo-blowing-system of inside burning down engine

Вниманию читателей и подписчиков!

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

С 1 января 2009 года журнал «Металл и литье Украины» поменял адрес редакции.

Статьи для печати в журнале «Металл и литье Украины» необходимо высылать по адресу:

**Украина, 03680, г. Киев-142, пр. Вернадского, 34/1,
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Телефон: (044) 424-12-50, 459-50-29, факс (044) 424-35-15,
E-mail: mlu@ptima.kiev.ua**

Продолжается подписка журнала на 2009 год

Подписаться на журнал можно через редакцию журнала. Чтобы оформить подписку, необходимо направить письмо-запрос или факс в адрес редакции для оформления счета-фактуры. Счет-фактура высылается письмом или по факсу.

**Стоимость одного журнала - 28 грн.
Годовая подписка - 336 грн. (для Украины).
Годовая подписка для зарубежных стран - 90 \$.**

Редакция может предоставить электронную версию журнала на компакт-диске.

Редакция также может подготовить заказной номер журнала.

Ориентировочная стоимость заказного номера - 6750 грн.

(объем до 4 уч.-изд. л.)

Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера - 13000 грн.

(объем до 8 уч.-изд. л.)