

УДК 539.3

Н.В. Камышанченко, А.В. Гальцев, О.А. Дручинина (БелГУ),
И.М. Неклюдов (НИИ "Харьковский физико-технический институт")
E-mail: kamysh@bsu.edu.ru

Влияние знакопеременного изгибового нагружения на изменение механических характеристик высокочистого никеля в зависимости от предварительной термообработки

Установлено, что при одностороннем знакопеременном нагружении независимо от состояния структуры наблюдается относительно большая величина прироста механических параметров, которые с увеличением числа циклов нагружения уменьшаются. При двухстороннем знакопеременном нагружении на результирующее значение механических параметров оказывает влияние эффект Баушингера.

Ключевые слова: термообработка, микротвердость, механические свойства, физические свойства.

The experimental research, conducted on the commercially pure nickel with different initial structural condition, determined the following: during the single-sided reversed loading, irrespective of structural condition, the significant increase of the mechanical characteristics is observed. With the increase of loading cycles these characteristics decrease. During the double-sided reversed loading the resulting mechanical characteristics are influenced by the Bauschinger's effect.

Keywords: heat treatment, microhardness, mechanical properties, physical properties.

Введение

Упрочнение в процессе знакопеременного нагружения представляет сложное явление, включающее в себя одновременно движение дислокаций, ответственных за пластическую деформацию кристаллов, их размножение и взаимодействие между собой. Несмотря на большую проделанную исследовательскую работу в изучении названной материаловедческой проблемы, интерес к изучению деформационного упрочнения кристаллов не ослабевает и основное внимание уделяется разработке технологии обработки металлов и сплавов в целях предотвращения или хотя бы уменьшения опасности разрушения деталей и сооружений от усталостных явлений.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния знакопеременного одно- и двухстороннего изгибового нагружения при комнатной температуре на механические характеристики образцов, изготовленных из высокочистого никеля, в зависимости от предварительной термообработки.

Методика эксперимента, материалы и оборудование

Плоские образцы из никеля чистотой 99,995 % вырезали из листа вдоль проката размером 10×1,5×50 мм и подвергали отжигу при температуре 1073 К в

течение 60 мин в вакууме $p = 1$ Па с последующим остыванием вместе с печью. Отожженные образцы в дальнейшем будут составлять первую партию. Часть отожженных образцов (вторая партия) подвергали закалке от 1373 К в воду и погружением в жидкий азот до начала проведения эксперимента. Третью партию отожженных образцов подвергали закалке с последующим деформированием до 2,0 % и отжигом под нагрузкой $\sigma_n = 0,5\sigma_{0,2}$ при комнатной температуре.

Образцы всех партий подвергали изгибовой повторно-переменной деформации на приспособлении с радиусом обжатия соответственно 15; 20; 25; 30 и 35 мм в одно- или двухстороннем направлении с цикловой нагрузкой от 1 до 14 циклов при комнатной температуре.

Прошедшие обработку образцы исследовали на величину удельного электрического сопротивления. Механические характеристики определяли на установке INSTRON 5882 растяжением, микротвердость поверхности образцов – при помощи ПМТ-3М.

Результаты эксперимента

Пластическая деформация в процессе знакопеременного изгибового нагружения происходит при каждом полцикле. Величина остаточной деформации при одинаковых условиях знакопеременного нагружения зависит от радиуса изгибового нагружения, числа циклов и исходного состояния структуры.

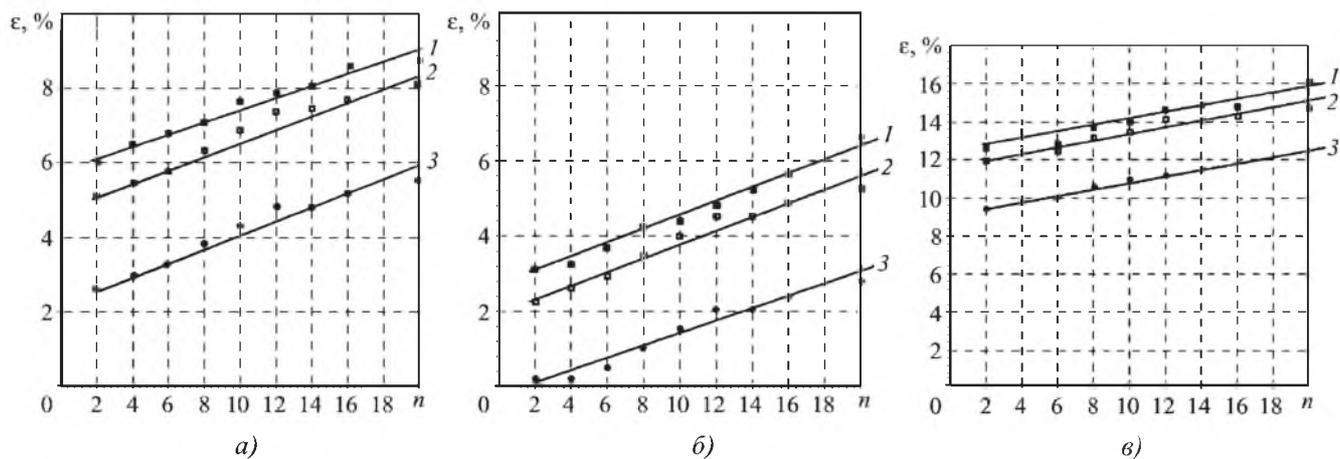


Рис. 1. Зависимости остаточной деформации от радиуса изгиба при полцикловом (а – $R = 15$ мм; б – $R = 35$ мм) и полном (в – $R = 15$ мм; г – $R = 35$ мм) знакопеременном нагружении: 1, 2, 3 – первая, вторая и третья партии соответственно

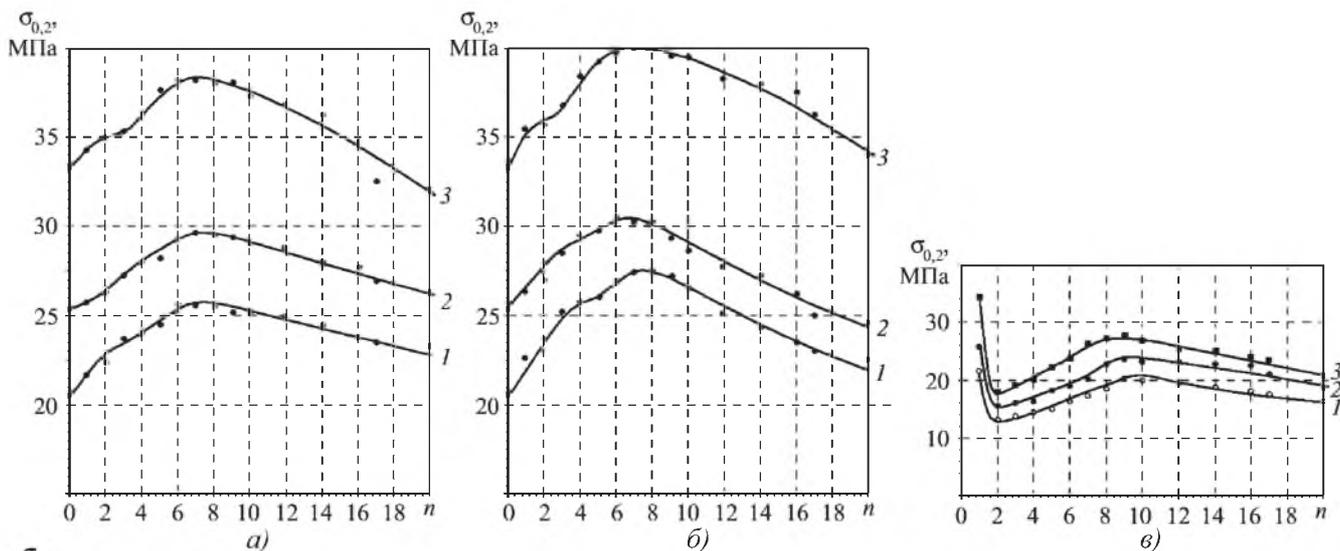
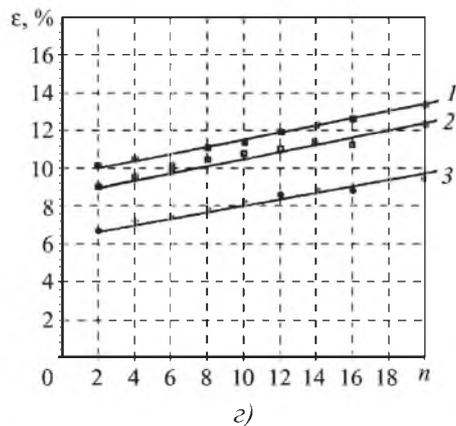
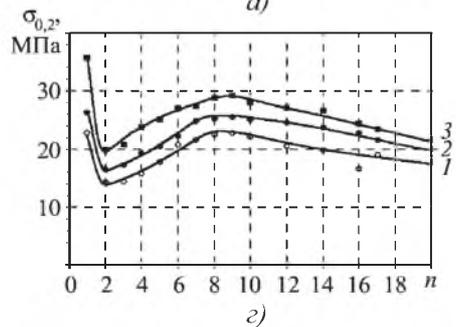


Рис. 2. Зависимости предела текучести от числа циклов и радиуса изгиба при полцикловом (а – $R = 15$ мм; б – $R = 35$ мм) и полном (в – $R = 15$ мм; г – $R = 35$ мм) знакопеременном нагружении: 1, 2, 3 – первая, вторая и третья партии соответственно



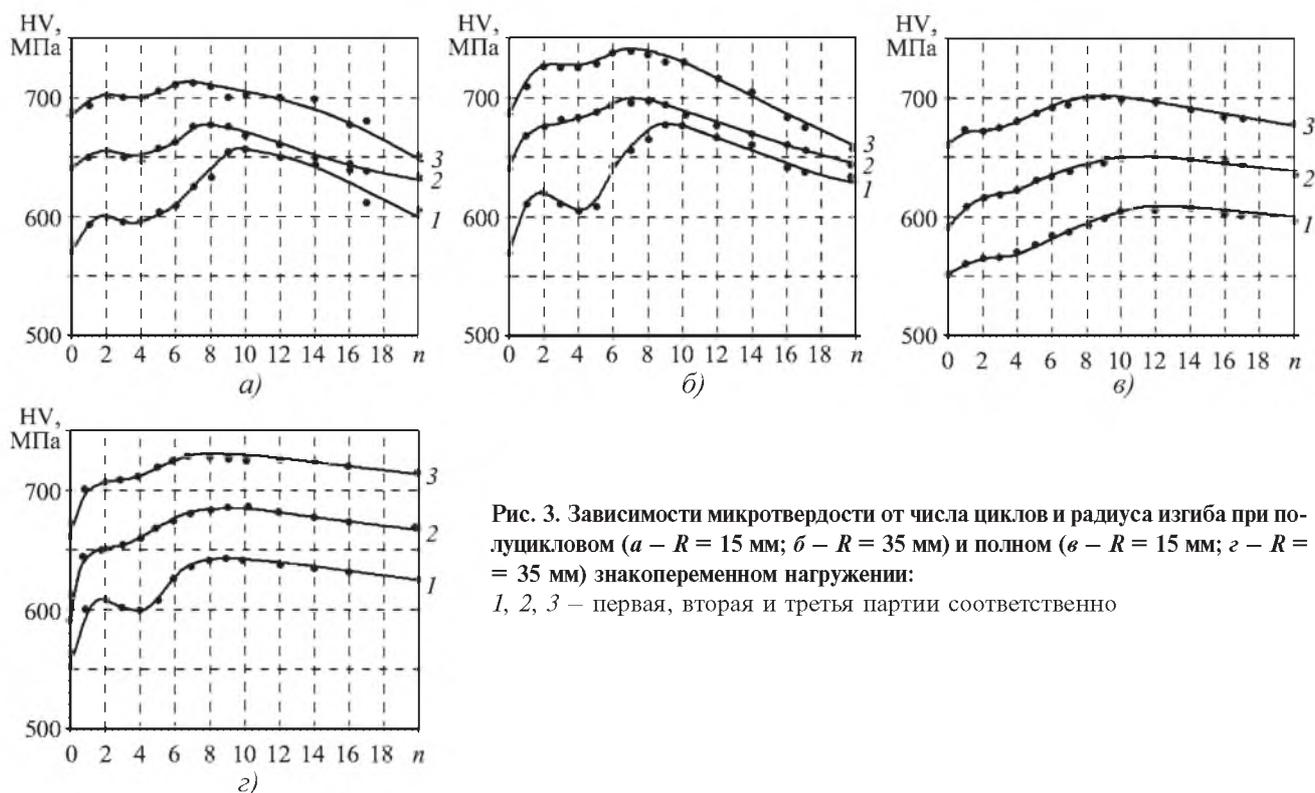


Рис. 3. Зависимости микротвердости от числа циклов и радиуса изгиба при полцикловом (а – $R = 15$ мм; б – $R = 35$ мм) и полном (в – $R = 15$ мм; г – $R = 35$ мм) знакопеременном нагружении: 1, 2, 3 – первая, вторая и третья партии соответственно

Остаточная деформация уменьшается с увеличением радиуса изгиба (рис. 1), а механические параметры (предел текучести и микротвердость) возрастают с увеличением числа циклов (рис. 2, 3).

Измерение удельного электрического сопротивления показало, что его изменение происходит синхронно с поведением механических параметров и такая закономерность качественно совпадает с изменением предела текучести или микротвердости до достижения оптимального числа циклов знакопеременного нагружения. Изменение абсолютных значений удельного электрического сопротивления как при одностороннем, так и при двухстороннем знакопеременном изгибовом нагружении зависит от исходного состояния структуры исследуемых образцов никеля (рис. 4).

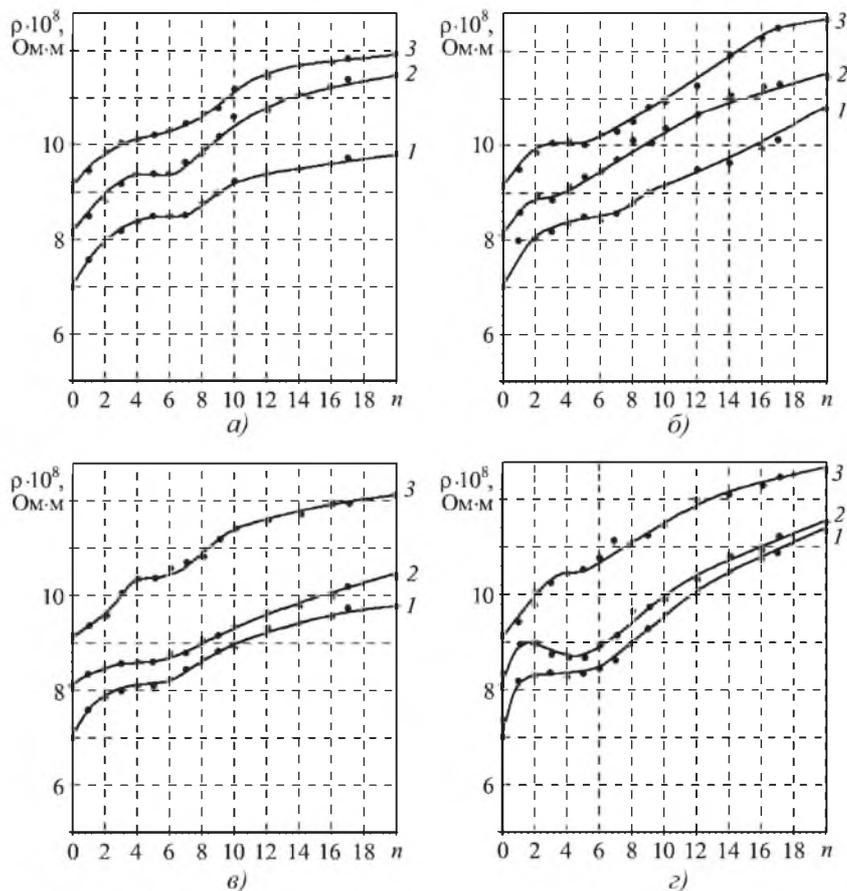


Рис. 4. Зависимости удельного электрического сопротивления от исходного состояния структуры, числа циклов и вида знакопеременного изгибового нагружения:

а, б – полцикловое знакопеременное нагружение; в, г – полное знакопеременное нагружение; 1, 2, 3 – первая, вторая и третья партии соответственно

Обсуждение результатов исследования

Пластическая деформация во время знакопеременного нагружения происходит при каждом полцикле (см. рис. 1). При смене знака напряжения наблюдается уменьшение первоначальной деформации, что связано, очевидно, со сложным процессом вакансионно-дислокационного взаимодействия, способствующим развитию новой пластической деформации, влияющей на изменение механических характеристик [1]. При последующих переменах знака напряжений величина пластической деформации (и за полцикл, и за полный цикл) несколько замедляется, затем вновь возрастает.

Степень замедления зависит от радиуса и исходного состояния структуры.

Аналогичным образом меняются и механические параметры: вначале они возрастают, затем образуется площадка или даже уменьшение прироста предела текучести и микротвердости (см. рис. 2, 3).

Для объяснения деформационного упрочнения ГЦК-кристаллов исходят из наличия устойчивых барьеров, способных сдерживать обратное движение дислокаций, появившихся при знакопеременном деформировании. К тому же наблюдаемое увеличение микротвердости, как известно, обуславливается появлением либо новых ступенек на дислокациях, либо образованием новых дислокационных петель.

Уменьшение микротвердости при циклическом нагружении может быть связано с полигонизацией и контролироваться скоростью диффузии и концентрацией вакансий. Из экспериментальных данных следует, что наибольший эффект при этом характерен для образцов первой партии.

После достижения максимального прироста механических параметров наблюдается их быстрый спад, что говорит об образовании повреждаемостей в объе-

ме кристалла, количество которых накапливалось малыми порциями от цикла к циклу.

Деформационное упрочнение, возникающее при знакопеременном изгибовом нагружении, вызывает постепенное сужение петли механического гистерезиса и наибольшая величина ее отмечается в образцах первой партии, уменьшается в закаленных образцах (вторая партия) и существенно уменьшается в деформационно-состаренных образцах (третья партия) (рис. 5).

Полученные результаты позволяют утверждать: с увеличением числа циклов нагружения площадь и ширина петли механического гистерезиса заметно уменьшается, что говорит о зависимости запасенной энергии от числа циклов, радиуса изгиба и исходного состояния никеля.

Как следует из приведенных экспериментальных результатов, деформация и соответственно деформационное упрочнение в начальный период неполного знакопеременного изгибового нагружения независимо от исходного состояния структуры отличаются относительной большой величиной прироста названных параметров, которые с увеличением циклов нагружения уменьшаются.

При полном знакопеременном изгибовом нагружении проявляются все признаки изменения прочностных характеристик, например предела текучести, характерные для эффекта Баушингера (см. рис. 2, 3). Прошедшие предварительное деформационное упрочнение образцы третьей партии обладают меньшим эффектом Баушингера при полном знакопеременном нагружении и отличаются большей "симметричностью" в сравнении с аналогичными результатами, полученными при неполном знакопеременном нагружении. Можно предположить, что дислокации при полном знакопеременном нагружении закреплены таким образом, что они примерно одинаково сопротивляются перемещению в противоположных направлениях.

Известно, что упрочнение, развиваемое деформацией при испытании на усталость, отличается от обычного наклепа и ближе к упрочнению, вызываемому радиационным облучением. Это означает, что в явлении усталости важную роль могут играть точечные дефекты [2].

Наличие и создание в металле точечных дефектов, например закалкой от высоких температур, приводит к заметному изменению механических свойств. В частности, состояние и поведение механических характеристик исследуемого никеля зависят от

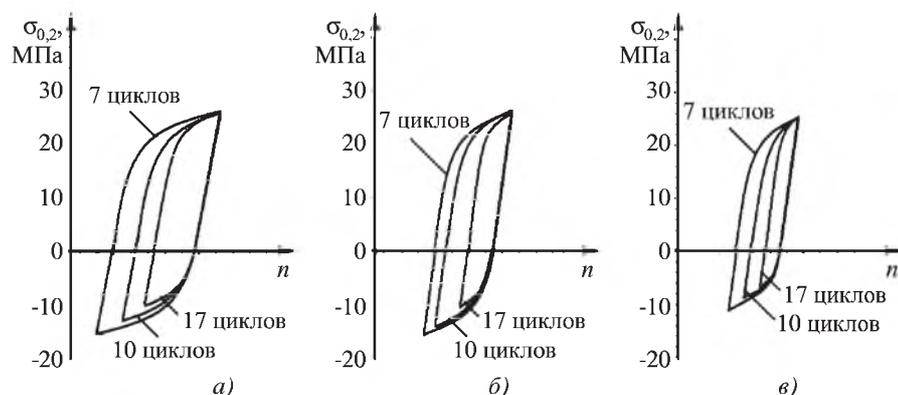


Рис. 5. Гистерезисная петля для первой (а), второй (б) и третьей (в) партий. Радиус изгиба 35 мм

точечных дефектов и их комплексов, полученных закалкой от высоких температур. Так, в образцах первой партии, отличающихся от второй и третьей партий внутренним энергетическим состоянием, влияние образующихся в процессе знакопеременного изгибового нагружения точечных дефектов на механические параметры на первых циклах существенно отличается от изменения названных параметров во второй и третьей партиях. Во второй партии, где после закалки от предплавильной температуры в объеме поликристаллов существенно повышается содержание вакансий и их комплексов, влияние созданных и вновь образованных дефектов отличается своим результатом от образцов первой и третьей партий [3, 4].

Во всех партиях на первых этапах знакопеременного нагружения главными механизмами, влияющими на механические характеристики исследуемого металла, по всей вероятности, являются взаимодействия точечных дефектов с дислокациями [2].

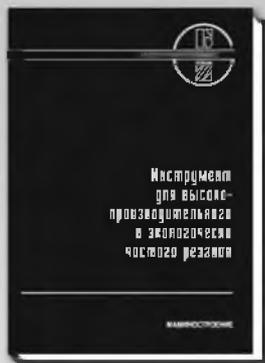
Полученные результаты исследования позволяют утверждать, что воздействие знакопеременного циклического нагружения приводит к заметному изменению механических и электрических характеристик ($\sigma_{0,2}$, HV, ρ). Созданная дополнительно дефектная структура, например закалкой от предплавильной

температуры, повышает механические характеристики с одновременным уменьшением проявления эффекта Баушингера.

Работа выполнена в центре коллективного пользования БелГУ (при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг., государственный контракт № П2275 от 13 ноября 2009 г.) и в НИЦ ХФТИ АН, Украина, в соответствии с договором между БелГУ и НИЦ ХФТИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камышанченко Н.В., Неклюдов И.М., Гальцев А.В. Сравнительные характеристики эффекта Баушингера в зависимости от исходного состояния структуры никеля // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 7. С. 16–22.
2. Гальцев А.В. Закономерность проявления эффекта Баушингера в деформационно-упрочненных после закалки металлах с ГЦК-структурой на примере чистого никеля: дис. ... канд. физ.-мат. наук. 2008. 160 с.
3. Камышанченко Н.В., Неклюдов И.М., Гальцев А.В. Исследование влияния вакансий и вакансионных комплексов на предел текучести Al, подвергнутого деформационному старению // Изв. вузов. Физика. 2008. № 3. С. 18–20.
4. Камышанченко Н.В., Неклюдов И.М., Гальцев А.В., Гончаров И.Ю. Влияние эффекта Баушингера на механические свойства никеля от структурного состояния // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 10. С. 14–22.



ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО РЕЗАНИЯ.

(Библиотека инструментальщика)

В.Н. Андреев, Г.В. Боровский, В.Г. Боровский, С.Н. Григорьев

2010 г. 480 с. ISBN 978-5-94275-571-1

Цена 700 р.

Представлены результаты исследований эффективности применения новых инструментальных материалов (твердые сплавы и быстрорежущие стали, керамические материалы, сверхтвердые материалы) и износостойких покрытий для высокоскоростного резания.

Приведены различные конструкции режущего инструмента для обработки тел вращения, плоскостей и отверстий, способствующие эффективному использованию режущего инструмента.

В связи с ужесточением экологических требований к смазочно-охлаждающим технологическим средствам рекомендованы альтернативные способы улучшения условий в зоне стружкообразования.

Для конструкторов инструмента, технологов, может быть полезна студентам вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU