

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Федотьев А. Н., Федотьева Л. П.

Представлены основные проблемы обрабатываемости резанием белых высокохромистых чугунов различными инструментальными материалами. Указано, что для повышения обрабатываемости высокопрочных сплавов необходимо повышать их пластичность и разупрочнять в зоне резания. Рассмотрены наиболее применяемые способы разупрочнения. Показана перспективность применения комбинированных методов обработки с использованием эффектов электро- и магнитоэластичности. Сформулированы принципы комплексного подхода к проблеме повышения обрабатываемости резанием высокохромистых белых чугунов: использование инструментального материала, обеспечивающего максимальную скорость резания при минимальной себестоимости и химически инертного к обрабатываемому материалу; создание в зоне резания условий, обеспечивающих повышение пластичности и разупрочнение локального слоя обрабатываемой заготовки; энергия дополнительных воздействий не должна повысить энергию, расходуемую на процесс обработки в целом; дополнительные воздействия не должны нарушать работоспособность инструментального материала и не ухудшать эксплуатационные свойства обработанных заготовок.

Представлені основні проблеми оброблюваності різанням білих високохромистих чавунів різними інструментальними матеріалами. Зазначено, що для підвищення оброблюваності високоміцних сплавів необхідно підвищувати їх пластичність і розміцнювати в зоні різання. Розглянуто найбільш застосовувані способи розміцнення. Показано перспективність застосування комбінованих методів обробки з використанням ефектів електро- і магнітопластичності. Сформульовано принципи комплексного підходу до проблеми підвищення оброблюваності різанням високохромистих білих чавунів: використання інструментального матеріалу, що забезпечує максимальну швидкість різання при мінімальній собівартості і хімічно інертного до оброблюваного матеріалу; створення в зоні різання умов, що забезпечують підвищення пластичності і розміцнення локального шару оброблюваної заготовки; енергія додаткових впливів не повинна підвищити енергію, що витрачається на процес обробки в цілому; додаткові впливи не повинні порушувати працездатність інструментального матеріалу і не погіршувати експлуатаційні властивості оброблених заготовок.

The basic problem of machinability of white high chrome cast iron by different tool materials. Indicated that to improve the workability of high-strength alloys to improve their flexibility and softening in the cutting zone. Considered the most used ways of softening. The prospects of the use of combined methods of treatment using the effects of electric- and magnetoplasticity. Formulates the principles an integrated approach to enhance the machinability high chromium white irons: the use of tool material providing maximum cutting speed for minimum cost and chemically inert to the material to be machined; creation in the cutting conditions that enhance the ductility and softening of the local layer of the workpiece, the energy of additional effects should not increase the energy for processing in general; additional exposure should not affect the performance of instrumental material and does not degrade the performance characteristics of pieces.

Федотьев А. Н.

канд. техн. наук, доц. КрНУ
fan450@yandex.ru

Федотьева Л. П.

канд. техн. наук, доц. КрНУ

КрНУ – Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

УДК 621.9: 62-96

Федотьев А. Н., Федотьева Л. П.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Важнейшим направлением технического прогресса в машиностроении является внедрение в производство материалов с повышенными свойствами, обеспечивающими конструкционную прочность, износ- и коррозионную стойкость деталей узлов и механизмов машин на протяжении всего заданного ресурса их эксплуатации.

В условиях острого дефицита легированных сталей и специальных сплавов особую роль в машиностроении приобретают износостойкие чугуны, обладающие уникальными эксплуатационными свойствами.

Однако широкое использование этого материала ограничено, в том числе из-за трудностей, связанных с его механической обработкой.

Белый чугун – разновидность чугуна, имеющая в изломе белый цвет и характерный металлический блеск. Углерод в нем содержится в виде цементита.

Легирование белого чугуна выполняется с целью повышения его износостойкости. Для этих целей применяются карбидообразующие элементы – хром, вольфрам, молибден и др.

Интенсивнее всего на твердость белого чугуна влияет углерод, который, собственно, и определяет количество карбидов. Остальные элементы, оказывающие воздействие на его твердость, располагаются в такой последовательности (по убывающей): никель, фосфор, марганец, хром, молибден, ванадий, кремний, медь, титан, сера.

Такие элементы, как Ni, Mn, Cr, непосредственно участвуют в образовании мартенситно-карбидной структуры. Если их суммарное содержание примерно равно доле углерода, отливка белого чугуна имеет максимальную твердость.

Высокохромистый белый чугун отличается максимальной устойчивостью к коррозии благодаря образованию на его поверхности окисных пленок. Кроме того, карбиды хрома и железа характеризуются высоким электродным потенциалом, сравнимым с потенциалом хромистого феррита – второй составляющей металлической массы белого чугуна.

Износостойкие высокохромистые белые чугуны широко используют в металлургической и трубной промышленности. В частности из них изготавливают износостойкие оправки для волочения труб (рис. 1).



Рис. 1. Заготовки оправок для волочения труб (производство Днепропетровского трубного завода)

Анализ работ [1–8] по изучению влияния условий течения износостойких чугунов показал, что, несмотря на постоянно возрастающую актуальность указанной проблемы, сам процесс резания еще недостаточно исследован.

Цель работы – сформировать комплексный подход к проблеме повышения обрабатываемости резанием высокохромистых белых чугунов.

Одной из существенных причин, сдерживающих применение многих марок белых износостойких чугунов, является их структурная неоднородность, наличие большого количества сложных карбидов, обладающих высокой твердостью, что наряду с другими факторами создает проблемы их механической обработки. Кроме этого, при выборе инструментального материала зачастую не учитывают такой фактор, как химическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов, что в случае обработки высокохромистых чугунов особо актуально. Так в работах [9, 10] указывается на более высокую стойкость твердого сплавов ВК6-ОМ и ВК3-ОМ по сравнению со сплавами ВК4, ВК6М при точении прокатных валков из высокохромистого чугуна твердостью НВ 380...390. Однако исследования, проведенные нами, показывают, что стойкость сплавов с особомелкозернистой структурой оказываются значительно ниже стойкости даже сплава ВК8 (рис. 2, 3). Это объясняется активным химическим взаимодействием хрома, содержащегося в заготовках и в инструментальном материале. Ведь известно [11], что для получения особомелкозернистой структуры твердых сплавов при спекании в жидкой фазе чаще всего применяют дополнительные очаги кристаллизации в виде карбидов хрома.

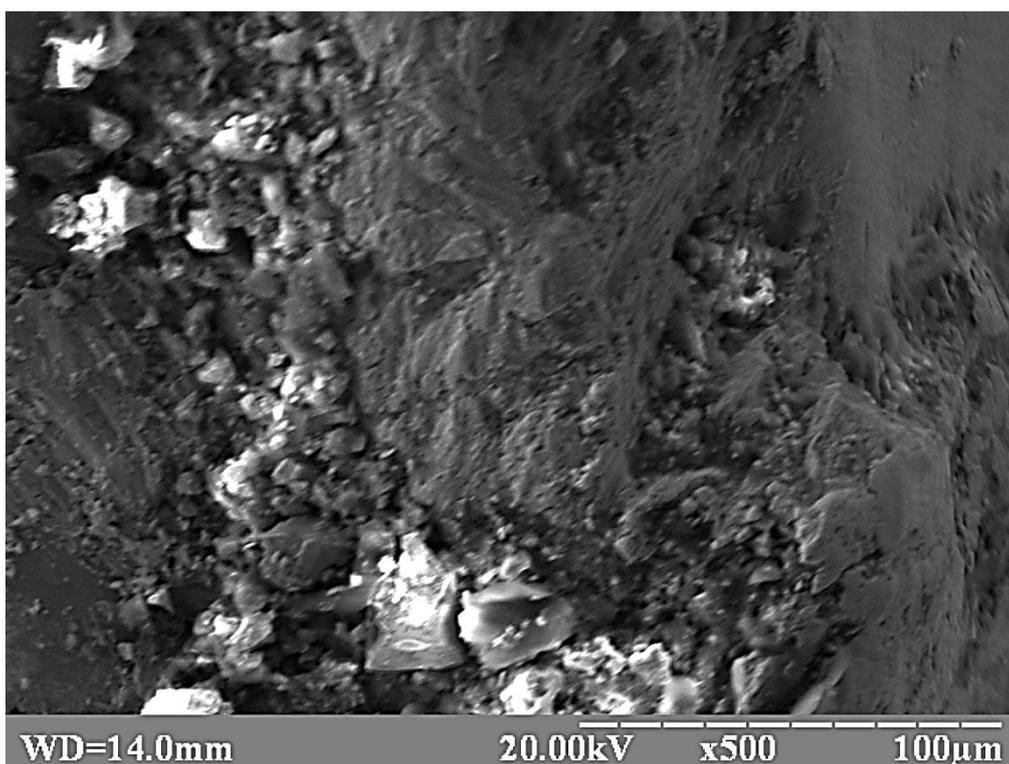


Рис. 2. Фрагмент режущей кромки (износ) режущей пластины из твердого сплава ВК6ОМ после обработки заготовки оправки для волочения труб, изображенной на рис. 1: $v = 20$ м/мин; $s = 1$ мм/об; $t = 1,5$ мм; время обработки 3 мин

Таким образом, при определении условий, улучшающих обрабатываемость резанием износостойких белых чугунов, необходимо учитывать влияние как основных компонентов структуры обрабатываемых (карбидов и металлической основы) и инструментальных сплавов, так и их химическое взаимодействие.

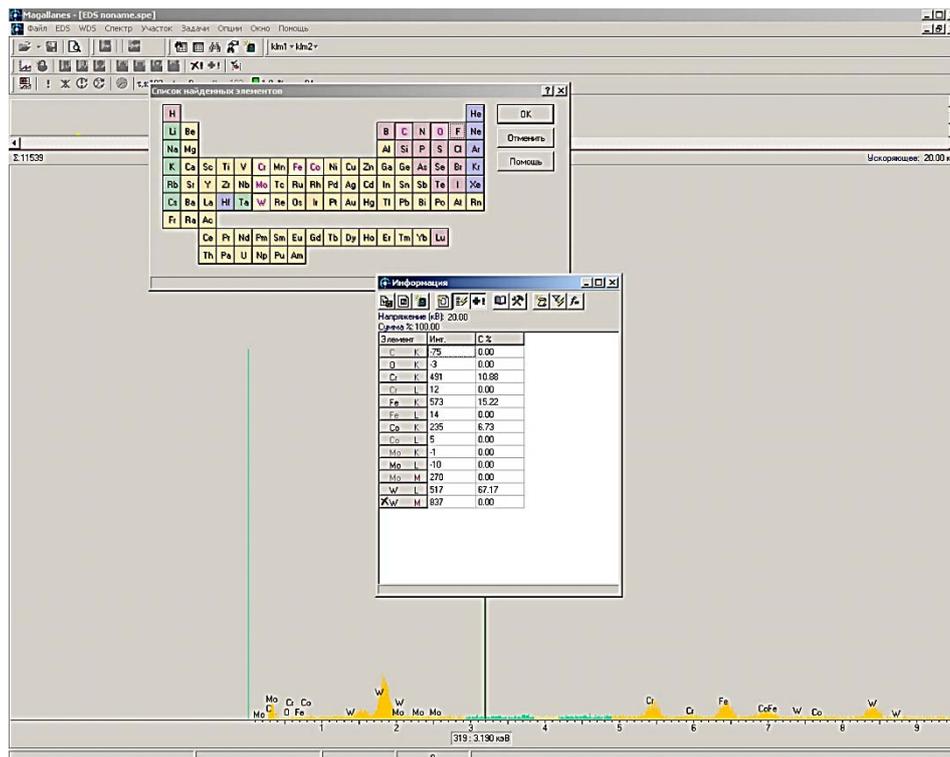


Рис. 3. Результаты рентгеноструктурного анализа фрагмента режущей кромки, изображенной на рис. 2

Несомненным лидером в производительности лезвийной обработки износостойких хромистых чугунов является ПСТМ на основе кубического нитрида бора [12, 13] ввиду их преимущества по твердости и термостойкости в сравнении с твердым сплавом. Кроме того, они инертны к черным металлам. Однако это преимущество проявляется только при ударной нагрузке. То есть при обработке заготовок «по корке» и с большим содержанием поверхностных дефектов в виде локальных включений карбидов, раковин и т. п. альтернативы твердому сплаву нет. При полустойковой и чистой обработке преимущества ПСТМ на основе кубического нитрида бора как инструментального материала не столь очевидны. Конкуренцию в этой области обработки создает режущая керамика, несколько проигрывающая в прочности, однако значительно выигрывающая в стоимости.

Очевидно, что исследованию применения того или иного инструментального материала, основанному на оптимальном использовании его режущих свойств и минимальной технологической себестоимости обработки изделий, было посвящено достаточное количество работ [12–14]. Кроме этого, процесс резания износостойких хромистых чугунов как комплекс механо-физико-химических взаимодействий в зоне резания до сих пор рассматривался недостаточно. И не ясно, каким образом можно обеспечить повышение производительности обработки при сохранении всех требований по качеству рабочего слоя изделий из износостойких хромистых чугунов. Зачастую это достигается путем простого повышения твердости режущего материала при обеспечении минимально возможной прочности.

Очевидно, этот путь развития повышения обрабатываемости материалов практически себя исчерпал.

По мнению автора [15] обрабатываемость резанием – это податливость материала внешнему воздействию со стороны режущего инструмента. В связи с этим утверждением проблема улучшения обрабатываемости резанием решается «целенаправленным управлением структурным состоянием обрабатываемого материала и обусловленных структурой его физико-механических и химических свойств».

Оценка деформируемости, применительно к обработке резанием возможна при использовании неких интегральных критериев: работы или энергии деформирования единицы объема пластичного материала до его разрушения при достижении критической степени деформации [15]:

$$D_1 = \sigma_{0,2} \frac{\varepsilon_{кр}^{m+1}}{m+1},$$

и удельная работа или энергия деформирования, отнесенная к единице степени деформации:

$$D_1 = \sigma_{0,2} \frac{\varepsilon_{кр}^m}{m+1},$$

где m – показатель степени кривой упрочнения материала:

$$m = \frac{\ln \sigma_B - \ln \sigma_{0,2}}{\ln \varepsilon_{кр}}.$$

Анализ этих формул показывает, что для минимизации удельной энергии деформации, целесообразно в первую очередь уменьшить предельную деформацию до разрушения, предел текучести и отношение $\sigma_B / \sigma_{0,2}$. Иными словами для повышения обрабатываемости высокопрочных сплавов необходимо повышать их пластичность и разупрочнять в зоне резания.

Современные методы интенсификации процесса резания как вида механической обработки, связанного с деформацией и разрушением среды, основаны на увеличении подвижности дислокаций. Основные из них, нашедшие некоторое практическое применение в обработке резанием, это электрофизические и электрохимические методы обработки, способы резания с дополнительным пластическим деформированием и тепловым воздействием [16].

Применение электрофизических и электрохимических методов интенсификации процесса обработки связано с использованием различных дополнительных материалов или веществ, увеличивающих экологическую нагрузку на окружающую среду. Кроме того, реализованные при этом физические и (или) химические процессы в основном действуют на существующую или вновь образованную поверхность заготовки, а не на какой-то определенный объем заготовки, что не позволяет значительно повысить производительность обработки.

Способы резания с дополнительным пластическим деформированием и тепловым воздействием, хотя и увеличивают зону влияния вглубь заготовки, однако приложение дополнительной энергии носит не локализованный характер и, поэтому, большая часть подводимой энергии рассеивается в объеме обрабатываемой заготовки.

Одними из перспективных методов повышения обрабатываемости высокопрочных чугунов на наш взгляд являются электро-пластический (ЭПЭ) и магнитопластический эффекты (МПЭ).

Обнаруженный Троицким О. А. [17] еще в 1969 г. ЭПЭ широко используется в процессах электропластической деформации для волочения медной и стальной проволоки, штамповки, плющения,ковки, прокатки.

Основными факторами, которые управляют кинетикой электропластической деформации, являются: электронный ветер и сила электронного увлечения, механические напряжения около поверхности раздела, динамичный пинч-эффект, динамическое температурное поле и др.

К недостаткам и ограничениям новой технологии, основанной на непосредственном вводе в зону резания токов высокой плотности при помощи скользящих контактов, относятся:

– снижение величины ЭПЭ с увеличением скорости деформации заготовки более 1,0–1,5 м/с, что связано с ограничениями на скорость дрейфа электронов транспортного тока, скорость деформации материала не должна превышать скорости дрейфа электронов;

– невозможность его применения при обработке металлов резанием заготовок большого сечения из-за большого энергопотребления в этом случае и сложность создания в зоне деформации плотности тока порядка 10^5 А/см², при которой реализуется ЭПЭ.

В работе [18] предложен оригинальный бесконтактный способ достижения необходимых токов непосредственно в зоне резания (рис. 4).

Лазерный луч направляется непосредственно на внешнюю сторону срезаемого слоя. Вследствие барьерного эффекта поверхности часть от общего количества подвижных дислокаций, обеспечивающих деформацию срезаемого слоя должна тормозиться его внешней поверхностью [15]. В этом случае скопления дислокаций создадут обратное напряжение на действующие поверхностные источники, препятствуя зарождению новых дислокаций и тем самым, увеличивая предел текучести деформированного металла.

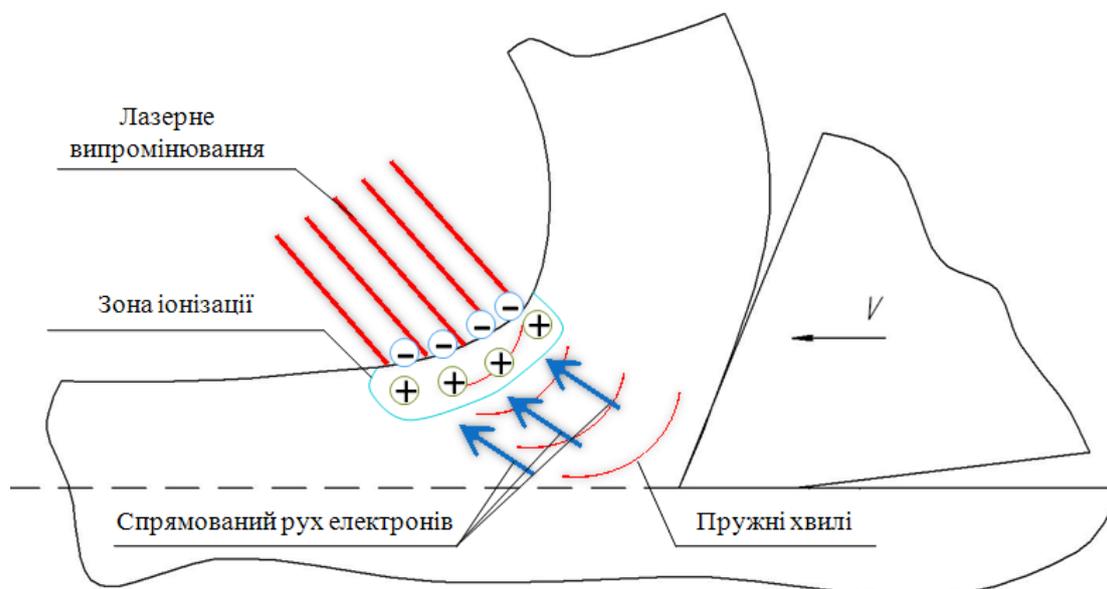


Рис. 4. Схема лазерно-лезвийной обработки, реализующей эффект электропластичности в зоне резания

Особенность предлагаемого процесса заключается не в нагреве поверхности заготовки, а в том, чтобы вызвать в ней фотоэлектрический ток и последующие эффекты.

Не смотря на свою новизну и перспективность, с точки зрения простоты конструктивной реализации в настоящее время работа носит теоретический характер и практической реализации не достигла.

Магнитоэластический эффект впервые был обнаружен в ионных кристаллах NaCl при комнатной температуре в постоянном поле с $B = 0,3$ Тл [19].

Дальнейшее развитие применения МПЭ все шире находит в самых разнообразных отраслях науки и техники от исследований ползучести алюминия при комнатной температуре [20] до улучшения различных свойств древесины [21].

В соответствии с современными представлениями МПЭ [22] в механике немагнитных кристаллов возникает, как следствие, спиновой эволюции в спиновом нанореакторе дислокация + стопор, который создается переносом электрона от дислокации к стопору. В спиновом нанореакторе выключается кулоновское притяжение между дислокацией и стопором

и ускоряется отщепление дислокации. Магнитное поле стимулирует спиновую конверсию из синглета в триплетное состояние нанореактора, в котором запрещен обратный перенос электрона и поэтому увеличивается время жизни нанореактора с выключенным кулоновским потенциалом. В результате магнитное поле увеличивает скорость отщепления дислокаций и их подвижность – в этом состоит физический смысл магнитопластичности.

В настоящее время данных по использованию МПЭ в процессах резания материалов нет. Поэтому на основании вышесказанного является перспективным его применение именно для увеличения пластичности высокопрочных сплавов в зоне резания с целью повышения обрабатываемости.

Способы создания магнитного поля от постоянных магнитов в зоне резания были проиллюстрированы в работе [23] для удержания магнитных жидкостей, применяемых в качестве СОТС, в зоне резания (рис. 5). Эти схемы с некоторой доработкой можно использовать и для использования МПЭ в импульсном магнитном поле, создаваемом электромагнитами.

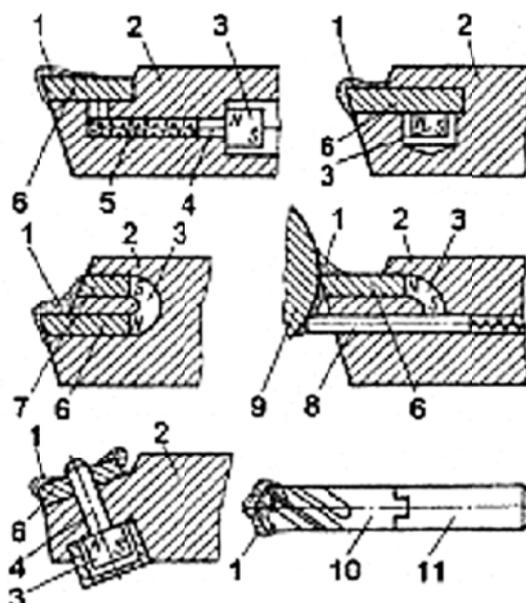


Рис. 5. Варианты создания магнитного поля на режущей части инструмента:

1 – зона магнитного поля; 2 – корпус инструмента из немагнитного материала; 3 – постоянные магниты; 4 – стальные стержни; 5 – магнитный железный порошок; 6 – режущая часть инструмента; 7 – стружколом; 8 – магнитный стержень для замыкания магнитного потока; 9 – обрабатываемая деталь; 10 – осевой инструмент; 11 – хвостовик

ВЫВОДЫ

Таким образом, можно сформулировать принципы комплексного подхода к проблеме повышения обрабатываемости резанием высокохромистых белых чугунов:

- использование в качестве инструментального материала такой, который бы обеспечивал максимальную скорость резания при минимальной технологической себестоимости процесса;

- инструментальный материал категорически не должен химически взаимодействовать с материалом заготовки;

- создание в зоне резания условий, обеспечивающих повышение пластичности и разупрочнение определенного локального слоя обрабатываемой заготовки, например при использовании ЭПЭ или МПЭ;

- энергия дополнительных воздействий не должна повысить энергию, расходуемую на процесс обработки в целом;

– дополнительные воздействия не должны нарушать работоспособность инструментального материала и не приводить к ухудшению эксплуатационных свойств обработанных заготовок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугун : справ. изд. / под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. – М. : Металлургия, 1991. – 576 с.
2. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – М. : Машиностроение, 1984. – 104 с.
3. Несвижский О. А. Долговечность быстроизнашивающихся деталей цементного оборудования / О. А. Несвижский. – М. : Машиностроение, 1968. – 223 с.
4. Тененбаум М. М. Износостойкость деталей и долговечность горных машин / М. М. Тененбаум. – М. : Госгортехиздат, 1960. – 246 с.
5. Тихонович В. И. Литые износостойкие материалы, их разработка и применение / В. И. Тихонович, О. И. Коваленко, В. А. Локтионов. – Киев : Знание, 1980. – 19 с.
6. Герек А. Легированный чугун – конструкционный материал : пер. с поль. / А. Герек, Л. Байкал. – М. : Metallurgia, 1978. – 207 с.
7. Гамольская П. И. Износостойкие материалы для деталей горных машин : науч. тр. / П. И. Гамольская, В. М. Гутерман, Н. А. Дюковская / ВНИИПТУглемаш. – М. : Недра, 1972. – Вып. 17. – С. 1–37.
8. Гидромашины, перекачивающие абразивные гидросмеси. Применение износостойких сплавов для быстроизнашивающихся деталей : РТМ 26-61. – М. : Стандартгиз, 1962. – 48 с.
9. Виноградский В. А. Износ резцов ВКБОМ при черновом точении высокохромистого чугуна / В. А. Виноградский, В. А. Качер, Е. Л. Цента // Резание и инструмент : сборник. – Харьков : изд. ХГУ, 1973. – Вып. 7. – С. 15–20.
10. Точение прокатных валков резами, оснащенными опытными марками твердых сплавов / Анащенко Н. И., Качер В. А., Цента Е. Л., Виноградский В. А. // Вестник машиностроения. – 1973. – № 3. – С. 67–69.
11. Клячко Л. И. Твердые сплавы на основе карбида вольфрама с тонкодисперсной структурой : Обзор / Л. И. Клячко, В. А. Фальковский, А. М. Хохлов. – М. : Изд. Дом «Руда и металлы», 1999. – 48 с.
12. Кравченко Ю. Г. Рациональные условия точения чугунных прокатных валков / Ю. Г. Кравченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1997. – № 2. – С. 57–60.
13. Кравченко Ю. Г. Надежность режущих пластин из композитов при точении отбеленных чугунов / Ю. Г. Кравченко, Ю. В. Савченко // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 1 (10). – С. 99–104.
14. Кравченко Ю. Г. Расчет удельной себестоимости обработки при точении / Ю. Г. Кравченко, Ю. В. Савченко // Национальный горный университет : сб. науч. тр. – Днепрпетровск : НГУ, 2004. – № 19, т. 4. – С. 88–91.
15. Старков В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.
16. Ермаков Ю. М. Комплексные способы эффективной обработки резанием : Библиотека технолога / Ю. М. Ермаков. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.
17. Спицин В. И. Электропластическая деформация металлов / В. И. Спицин, О. А. Троицкий. – М. : Наука. – 1985. – 160 с.
18. Федотьев А. М. Розробка теоретичних засад комбінованої лазерно-лезової обробки сталей аустенітного класу / А. М. Федотьев, Я. В. Миронов // Вісник СевНТУ. Машинобудування та транспорт : зб. наук. пр. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2012. – Вып. 129. – С. 253–257.
19. Альшиц В. И., Даринская Е. В., Перекалина Т. М., Урусовская А. А. // ФТТ. – 1987. – Т. 29. – №2. С. 467–470.
20. Загуляев Д. В. Влияние воздействия слабого магнитного поля на скорость ползучести металлов / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2009. – № 2. – С. 35–37.
21. Камалова Н. С. Влияние слабых импульсных магнитных полей на механические и адсорбционные свойства модифицированной древесины : автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук : спец. 01.04.07. «Физика конденсированного состояния» / Н. С. Камалова. – Воронеж, 2008. – 28 с.
22. Головин Ю. И. Магниторезонансное разупрочнение кристаллов / Ю. И. Головин, Р. Б. Моргунов // Природа. Ежемесячный естественнонаучный журнал Российской академии наук. – 2002. – № 8. – С. 49–56.
23. Подгорков В. В. Применение магнитных жидкостей в качестве технологических сред при обработке металлов / В. В. Подгорков, С. Н. Смирнов // Физико-химические и прикладные проблемы магнитных жидкостей / М-во общего и проф. образования РФ, Ставропольский гос. ун-т ; отв. ред. Ю. Н. Скибин. – Ставрополь, 1997. – 105 с.