

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.15:621.9.02

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*}Каф. «Оборудование и технология сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 270 95 20, эл. почта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ

Цель. Данное исследование направлено на получение регрессионной зависимости обрабатываемости резанием от химического состава чугуна (С, Cr, Mn и Ni) в литом состоянии. **Методика.** Для построения математической модели использовали метод активного планирования эксперимента. Исследовали чугуны состава: 1,09–3,91 % С; 11,43–25,57 % Cr; 0,6–5,4 % Mn; 0,19–3,01 % Ni. Для точения использовали резцы с пластинами 10x10 мм из BK8 по ГОСТ 19051–80. Режимы резания: глубина резания – 0,8 мм, продольная подача – 0,15 мм/об, частота вращения шпинделя 200–630 об/мин. СОЖ (смазочно-охлаждающие жидкости) не применяли. Оценка обрабатываемости чугунов производилась путем определения линейного износа задней поверхности резца на единицу длины пути резания. **Результаты.** Получено математически вероятностное уравнение регрессионной зависимости износа резца от содержания в обрабатываемом чугуне С, Cr, Mn и Ni. Установлено, что с ростом содержания Cr в чугуне до 14,8 % износ резца снижался в результате образования карбидной эвтектики, которая разрушала сплошной каркас легированного ледебурита. Дальнейшее повышение содержания хрома способствовало появлению хромистых карбидов с высокой микротвердостью, что значительно увеличивало износ инструмента. Проведенные исследования показали, что минимальный износ резца 0,18 мкм/м наблюдался при обработке чугуна состава: 1,09 % С, 14,8 % Cr, 2,3 % Mn и 1,2 % Ni, а максимальный – 48,96 мкм/м при содержании: 3,91 % С, 11,43 % Cr, 5,4 % Mn и 0,19 % Ni. Износ резца, при обработке чугуна содержащего 3,91 % С, 25,57 % Cr, 5,4 % Mn и 0,19 % Ni, составил 47,61 мкм/м. **Научная новизна.** Автором разработана математически вероятностная модель зависимости износа резца от содержания в обрабатываемом чугуне С, Cr, Mn и Ni. **Практическая значимость.** Модель позволяет оптимизировать составы износостойких чугунов для отливок, требующих значительного объема механической обработки резанием. Рекомендованы составы чугунов для различных условий эксплуатации.

Ключевые слова: износостойкий чугун; легирование; структура; резание; износ резца

Вступление

Высокохромистые износостойкие чугуны (ИЧХ) являются многокомпонентными сплавами с разнообразными структурами и широким диапазоном физических и химических свойств. Они применяются для деталей, работающих в условиях абразивного и гидроабразивного

изнашивания. Вследствие высокой твердости и износостойкости эти материалы имеют неудовлетворительную обрабатываемость резанием. Это делает невозможным получение из них фасонных деталей, требующих значительной механической обработки [6, 8].

При механической обработке материал детали подвергается силовому и тепловому воз-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

действию в результате трения между резцом и деталью [3]. При силовом воздействии в обрабатываемом материале возникают внутренние напряжения, протекает пластическая деформация, упрочнение (наклеп). Повышение температуры в зоне резания может вызывать изменения в обрабатываемом материале, приводящие к снижению твердости [9].

Обрабатываемость резанием является комплексным показателем, зависящим от исходной структуры и свойств материала детали, состояния литой поверхности, наличия литейных дефектов (раковин), материала резца, режимов резания, процессов, вызывающих изменение структуры и свойств во время обработки и других факторов. Улучшение обрабатываемости высокохромистых чугунов достигалось за счет смягчающей термической обработки [4, 6, 8, 11, 12]. Для восстановления износостойких свойств этих материалов производилась дополнительная термическая обработка [4,8,13]. Такая технология является дорогостоящей и энергозатратной.

В работах [4, 6, 8, 11, 12] оценка обрабатываемости ИЧХ производилась путем сверления или методом торцевого точения. В результате этих исследований были разработаны рекомендации по выбору режимов резания для конкретных марок чугунов и деталей.

Систематизированные данные об обрабатываемости резанием ИЧХ в литом состоянии лезвийным инструментом при продольном точении практически отсутствуют.

Влияние хрома на физические и технологические свойства сплавов обуславливается его способностью: ограничивать γ – область железа; образовывать ряд непрерывных твердых растворов замещения с α – железом; снижать растворимость углерода в металлической основе и образовывать специальные карбиды. При содержании в твердом растворе до 7 % хром повышает прокаливаемость [7], а при содержании более 12,5 % сплав становится коррозионностойким [1,7].

Влияние углерода на обрабатываемость высокохромистых чугунов обусловлено количеством карбидной фазы, ее типом, распределением и формой карбидов. В зависимости от соотно-

шения углерода и хрома в чугунах образуются карбиды Me_3C , Me_7C и $Me_{23}C_6$. Содержание углерода и хрома определяет износостойкость чугуна [6, 14, 15].

Влияние марганца определяется его аустенито- и карбидообразующими свойствами. В высокохромистых чугунах, содержащих до 0,6 % Mn, карбидообразующие свойства марганца не проявляются, он находится в твердом растворе [10]. При увеличении содержания марганца в чугуне, его содержание в первичных хромистых карбидах увеличивается, достигая равномерного распределения между карбидами и матрицей при 3–3,5 % Mn. При дальнейшем увеличении содержания марганца в чугуне, его концентрация в карбидах превышает концентрацию в металлической основе. В карбидах, в процессе охлаждения отливок или при термической обработке, протекают процессы замещения атомами хрома атомов железа и марганца, в результате которых создается химическая неоднородность металлической основы по хрому. Обеднение хромом околокарбидных зон может приводить к снижению коррозионной стойкости [5, 15].

Никель, являясь аустенитообразующим элементом, повышает прокаливаемость, способствует твердорастворному упрочнению металлической основы и повышению вязкости разрушения сплавов.

Цель

Цель работы заключалась в получении регрессионной зависимости обрабатываемости резанием чугуна от его химического состава (C, Cr, Mn и Ni) в литом состоянии.

Методика

Использовали метод активного планирования эксперимента для построения математической модели (табл. 1).

Чугун выплавлялся в индукционной печи емкостью 60 кг с основной футеровкой.

Температура жидкого чугуна при заливке составляла 1 380–1 410 °С. Отливали в сухие формы цилиндрические образцы диаметром 30 мм и длиной 400 мм. Металлографический

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

анализ и испытания проводили в литом состоянии без термической обработки.

Таблица 1

**Матрица планирования
дробного факторного эксперимента 2^{4+1}**

Table 1

**Matrix of fractional factor
experiment 2^{4+1} planning**

Уровни варьирования факторов		Факторы			
		C,%	Cr,%	Mn, %	Ni,%
Основной	0	2,5	18,5	3,0	1,6
Интервал	Δ	1,0	5,0	1,7	1,0
Звездное плечо	1,414 Δ	1,41	7,07	2,4	1,41
Верхние уровни	+1	3,5	23,5	4,7	2,6
	+1,414	3,91	25,57	5,4	3,01
Нижние уровни	-1	1,5	13,5	1,3	0,6
	-1,414	1,09	11,43	0,6	0,19

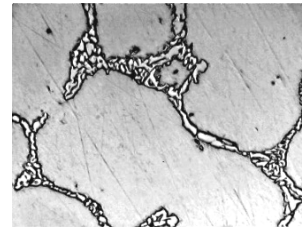
Перед испытаниями образцы обтачивались до диаметра 25 мм. Для чистового точения использовали резцы с пластинами 10x10 мм из сплава BK8 по ГОСТ 19051–80. Режимы резания: глубина резания – 0,8 мм; продольная подача – 0,15 мм/об, частота вращения шпинделя 200–630 об/мин. СОЖ не применяли. Оценка обрабатываемости чугунов производилась путем определения линейного износа задней поверхности резца на единицу длины пути резания. Анализ структуры выполняли на оптических микроскопах МИМ-8 и Sigeta MM-700 при увеличении 100–600, с использованием методик количественной металлографии [2].

Результаты

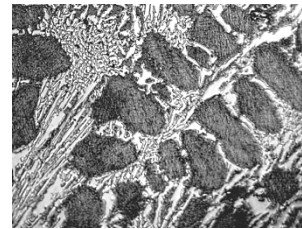
В зависимости от содержания углерода и хрома в чугуне формировались структуры с различным количеством и типом карбидов (рис. 1). При низком содержании углерода и высоком содержании хрома образовывались карбиды $(Cr, Fe, Mn)_{23}C_6$. Увеличение содержания углерода при снижении количества хрома

способствовало формированию карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$. При высоком содержании углерода и низком хrome образовывались карбиды $(Fe, Cr, Mn)_3C$. Структура и свойства металлической основы зависели от содержания хрома, никеля и марганца. С увеличением количества Mn и Ni металлическая основа изменялась от ферритной (мартенситной) до аустенитной.

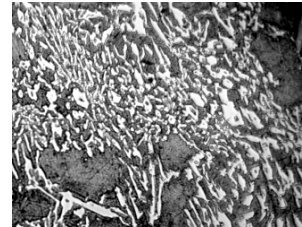
a-a



б-б



в-в



г-г

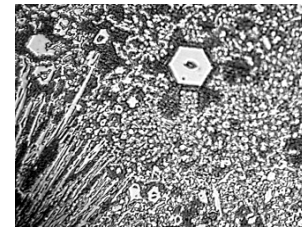


Рис. 1. Типы карбидов в чугунах, x 600:

a – карбиды $(Cr, Fe, Mn)_{23}C_6$; б – карбиды $(Fe, Cr, Mn)_3C$ и $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$; в – эвтектические карбиды $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$; г – эвтектические и заэвтектические карбиды $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$

Fig. 1. Carbide types in the cast irons, x 600:

a – carbides $(Cr, Fe, Mn)_{23}C_6$; b – carbides $(Fe, Cr, Mn)_3C$ and $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$; c – eutectic carbides $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$; d – eutectic and hypereutectic carbides $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

В результате математической обработки экспериментальных данных получена регрессионная зависимость износа резца от содержания в обрабатываемом чугуна C, Cr, Mn, Ni следующего вида:

$$I, \text{ мкм/м} = 24,313 C - 3,408 Mn - 6,993 Cr + 0,948 CMn - 0,514 CCr - 1,755 CNi + 4,943 (Cr/C) + 0,514 Mn^2 + 0,216 Cr^2 + 0,797Ni^2 - 0,136(Cr/C)^2.$$

Данные уравнения являются математически вероятностными в соответствии с критериями Стьюдента, Фишера и Кохрена.

Физический смысл этого уравнения состоит в том, что обрабатываемость чугуна зависит от общего содержания легирующих элементов и их взаимного влияния и определяется количеством и типом карбидов, а также структурой металлической основы.

Графическое отображение этой функции представлено на рис. 2–5.

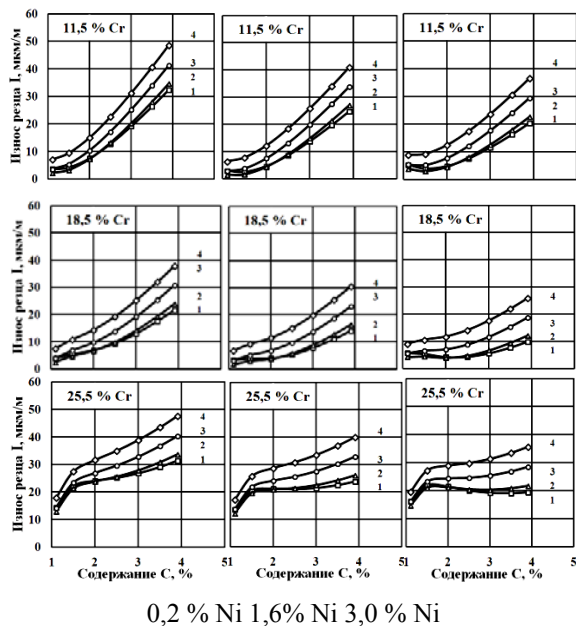


Рис. 2. Влияние C, Cr, Mn и Ni на износ резца:
1 – 0,6 % Mn; 2 – 2,0 % Mn; 3 – 4,0 % Mn; 4 – 5,4 % Mn

Fig. 2. Influence of C, Cr, Mn and Ni on the cutting tool's wear:
1 – 0.6 % Mn; 2 – 2.0 % Mn; 3 – 4.0 % Mn; 4 – 5.4 % Mn

При содержании углерода до 1,6 % влияние Cr, Mn и Ni было однозначным и практически не зависело от количества других элементов.

Увеличение углерода свыше 1,6 % повлияло на процессы образования карбидов и соответственно на интенсивность износа резца, которая изменялась в зависимости от количества Cr, Mn и Ni. Максимальный износ резца наблюдался при 3,91 % C (рис. 2).

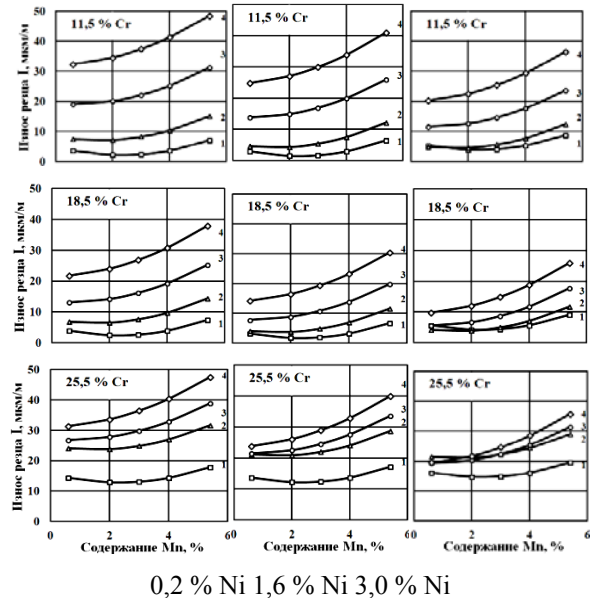


Рис. 3. Влияние C, Cr, Mn и Ni на износ резца:
1 – 1,1 %C; 2 – 2,0 %C; 3 – 3,0 %C; 4 – 3,9 %C

Fig. 3. Influence of C, Cr, Mn and Ni on the cutting tool's wear:
1 – 1.1 %C; 2 – 2.0 %C; 3 – 3.0 %C; 4 – 3.9 %C

При содержании в чугуна до 2,0 % Mn и максимальном количестве Cr и Ni увеличение содержания углерода свыше 1,6 % не оказывало значительного влияния на обрабатываемость. Практически при всевозможных сочетаниях C, Cr и Ni увеличение содержания марганца свыше 2,3 % увеличивало износ резца и ухудшало обрабатываемость чугуна за счет образования аустенита, склонного к наклепу (рис. 3).

Увеличение содержания Ni уменьшало износ резца за счет формирования аустенита, несклонного к наклепу в значительной степени. При минимальном содержании углерода в чугуна увеличение Ni свыше 2,5 % повышало износ резца за счет твердорастворного упрочнения основы (рис. 4).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

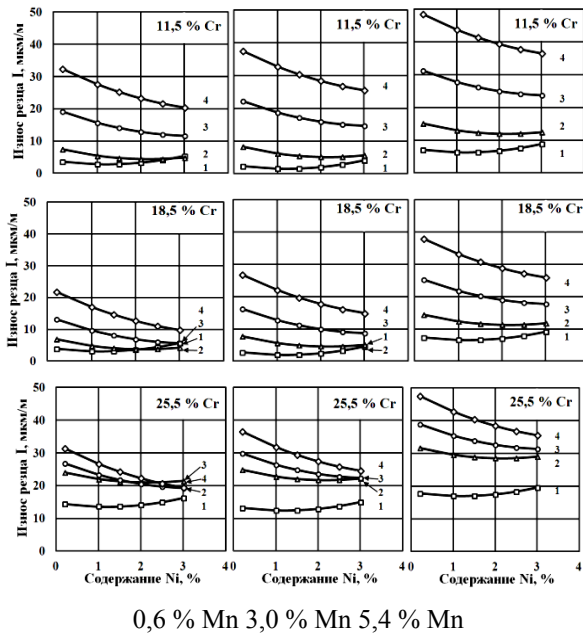


Рис. 4. Влияние C, Cr, Mn и Ni на износ резца:
1 – 1,1 % C; 2 – 2,0 % C; 3 – 3,0 % C; 4 – 3,9 % C

Fig. 4. Influence of C, Cr, Mn and Ni
on the cutting tool's wear:

1 – 1.1 % C; 2 – 2.0 % C; 3 – 3.0 % C; 4 – 3.9 % C

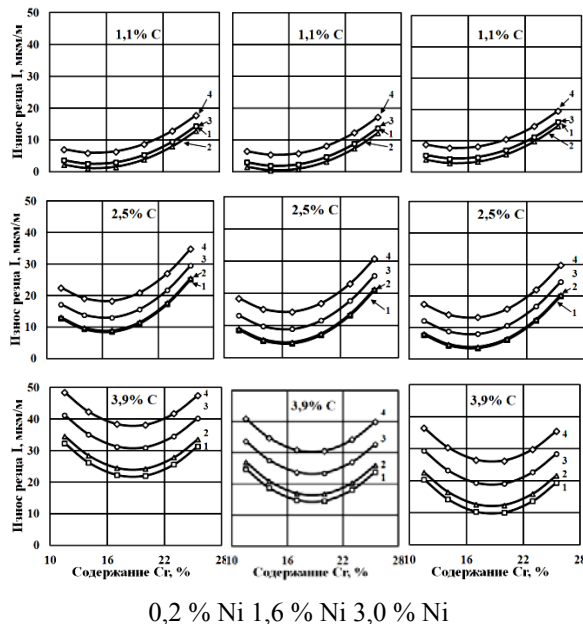


Рис. 5. Влияние C, Cr, Mn и Ni на износ резца:
1 – 0,6 % Mn; 2 – 2,0 % Mn; 3 – 4,0 % Mn; 4 – 5,4 % Mn

Fig. 5. Influence of C, Cr, Mn and Ni
on the cutting tool's wear:

1 – 0.6 % Mn; 2 – 2.0 % Mn; 3 – 4.0 % Mn; 4 – 5.4 % Mn

Влияние количества хрома в чугунах на износ резца определялось его воздействием на процессы карбидообразования (формирование карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$) и твердорастворное упрочнение матрицы. При содержании 1,1 % C и 11,4 % Cr карбидная фаза представлена в основном карбидами цементитного типа $(Fe, Cr, Mn)_3C$, образующими сетку цементита. Увеличение хрома до 14,8 % снижало износ резца, за счет образования карбидной эвтектики, которая разрушала сетку цементита. Дальнейшее повышение содержания хрома вызывало формирование большого количества карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$, обладающих высокой твердостью. Повышение содержания углерода в чугунах до 3,91 % увеличивало износ резца и смещало область минимального износа с 14,8 % до 20 % Cr (рис. 5). Смещение области минимального износа связано с тем, что повышение содержания углерода увеличивает количество карбидной фазы в чугунах и соответственно увеличивает количество хрома, растворенного (связанного) в карбидах цементитного типа, а также требует образование большего количества карбидной эвтектики для разрушения сетки ледебурита.

Анализ экстремумов полученной функции показал, что минимальный износ резца (0,18 мкм/м) происходит при обработке резанием чугуна, содержащего 1,09 % C, 14,8 % Cr, 2,3 % Mn и 1,2 % Ni, а максимальный (48,96 мкм/м) при 3,91 % C, 11,43 % Cr, 5,4 % Mn и 0,19 % Ni. Следует отметить, что повышение содержания хрома до 25,57 % Cr при 3,91 % C, 5,4 % Mn и 0,19 % Ni увеличивало износ резца до 47,61 мкм/м, что практически достигало уровня износа резца при обработке резанием чугуна с 11,43 % Cr.

Использование полученного уравнения регрессии позволяет прогнозировать обрабатываемость резанием лезвийным инструментом высокохромистых чугунов в литом состоянии. При этом оптимальные для конкретных условий эксплуатации структуры образуются после термической обработки.

Для литых деталей, требующих большого объема механической обработки в литом состоянии, рекомендуются составы износостойких чугунов:

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- для експлуатації в нейтральних середовищах: 2,5–3,5 % С, 17–19 % Cr, 1,5–2,0 % Mn і 1,0–1,5 % Ni;
- для експлуатації в корозійних середовищах: 1,1–1,5 % С, 24–25,6 % Cr, 1,5–2,3 % Mn і 1,5–2,0 % Ni.

Научная новизна и практическая значимость

Разработана математическая модель зависимости износа режущего инструмента от содержания в обрабатываемом чугуна С, Cr, Mn и Ni при обработке резанием лезвийным инструментом.

Разработанная модель позволит оптимизировать составы износостойких чугунов, требующих значительного объема механической обработки резанием лезвийным инструментом.

Выводы

1. Для деталей из высокохромистых чугунов, требующих механической обработки, содержание Mn должно быть не более 2,3 %.
2. Для условий абразивного изнашивания рекомендуются чугуны содержащие: 2,5–3,5 % С, 17–19 % Cr, 1,5–2,0 % Mn и 1,0–1,5 % Ni после термической обработки.
3. Для эксплуатации в коррозионных средах рекомендуются чугуны, содержащие: 1,1–1,5 % С, 24–25,6 % Cr, 1,5–2,3 % Mn и 1,5–2,0 % Ni после термической обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
2. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві / І. О. Вакуленко. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2010. – 124 с.
3. Вакуленко, І. О. Технологія механічної обробки металевих матеріалів / І. О. Вакуленко, Т. М. Кадильникова, С. В. Пройдак. – Дніпропетровськ : Стандарт-Сервіс, 2014. – 176 с.
4. Влияние термической обработки на свойства высокохромистого чугуна / М. Н. Беркун, И. П. Волчок, И. В. Живица, В. И. Топал // Ме-

- талловедение и термическая обработка металлов. – 1971. – № 1. – С. 64–66.
5. Волчок, И. П. Особенности легирования марганцем износостойких высокохромистых чугунов / И. П. Волчок, В. В. Нетребко // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 162–165.
6. Гарбер, М. Е. Износостойкие белые чугуны / М. Е. Гарбер. – Москва : Машиностроение, 2010. – 280 с.
7. Гудремон, Э. Специальные стали. Т. 1 / Э. Гудремон. – Москва : Металлургия, 1966. – 736 с.
8. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунов / А. А. Кириллов, В. Д. Белов, Е. В. Рожкова [и др.] // Черные металлы. – 2007. – № 9. – С. 7–13.
9. Нетребко, В. В. Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунов / В. В. Нетребко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 167–169.
10. Нетребко, В. В. Влияние физических и тепловых процессов на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием / В. В. Нетребко // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 97–103. doi: 10.15802/stp2014/33395.
11. Новые подходы к выбору режима смягчающей термической обработки высокохромистых чугунов / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, А. С. Кравцов [и др.] // Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. докл. 73 междунар. науч.-практ. конф. / Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 2013. – С. 282–283.
12. Чабак, Ю. Г. Влияние режима отжига на микроструктуру и твердость высокохромистых чугунов с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов / Ю. Г. Чабак // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос акад. стр-ва и архит. – Днепропетровськ, 2013. – Вип. 67. – С. 188–192.
13. Чабак, Ю. Г. Структурные изменения в комплекснолегированном белом чугуна при дестабилизирующем нагреве / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, Р. Р. Станишевский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 229–232.
14. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides / D. Kopyciński, M. Kawalec, A. Szczęsny [et al.] // Archives of Metallurgy and Materials. Institute of metallurgy and materials

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- science of Polish academy of sciences. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 973–976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
15. Belikov, S. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron / S. Belikov, I. Volchok, V. Netrobko // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 895–897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
16. Gierek, A. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne / A. Gierek, L. Bajka. – Katowice : Slask, 1976. – 230 p.

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*}Каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 27 09 520, ел. пошта olgavn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ НА ОБРОБЛЮВАНІСТЬ РІЗАННЯМ

Мета. Дане дослідження спрямоване на визначення регресійної залежності оброблюваності різанням від хімічного складу чавуну (С, Cr, Mn та Ni) в стані литва. **Методика.** Для побудови математичної моделі було застосовано метод активного планування експерименту. Досліджували чавуни наступного складу: 1,09...3,91 % С; 11,43...25,57 % Cr; 0,6...5,4 % Mn; 0,19...3,01 % Ni. При обробці різанням використовували різці з пластинами 10x10 мм зі сплаву ВК8 по ГОСТ 19051–80. Параметри обробки: глибина різання – 0,8 мм, подача – 0,15 мм/об, частота обертання шпинделю – 200...630 об/хв. МОР (мастильно-охолоджуючі рідини) не застосовували. Оцінювання оброблюваності різанням визначали за розміром зносу різця на одиницю довжини різання. **Результати.** Отримано математично вірогідне регресивне рівняння зносу різця в залежності від вмісту в оброблюваному чавуні С, Cr, Mn та Ni. Встановлено, що збільшення вмісту Cr в чавуні до 14,8 % зменшує знос різця внаслідок утворення карбідної евтектики, яка руйнувала суцільний каркас легованого ледебуриту. Подальше збільшення вмісту хрому сприяло появі карбідів із високою мікротвердістю, що значно збільшувало знос інструменту. Проведені дослідження виявили, що найменший знос різця 0,18 мкм/м був при обробці чавуну, якій містив: 1,09 % С, 14,8 % Cr, 2,3 % Mn та 1,2 % Ni, а найбільший знос – 48,96 мкм/м при вмісту: 3,91 % С, 11,43 % Cr, 5,4 % Mn та 0,19 % Ni. Знос різця при вмісту в чавуні 3,91 % С, 25,57 % Cr, 5,4 % Mn, 0,19 % Ni склав 47,61 мкм/м. **Наукова новизна.** Автором розроблена математично вірогідна модель залежності зносу різця від вмісту в оброблюваному чавуні С, Cr, Mn та Ni. **Практична значимість.** Рекомендована модель дозволяє оптимізувати склади зносостійких чавунів для виливок, що потребують значного об'єму механічної обробки різанням. Рекомендовані склади чавунів для різних умов експлуатації.

Ключові слова: зносостійкий чавун; легування=структура; різання=знос різця

V. V. NETREBKO^{1*}

^{1*}Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhya National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 270 95 20, e-mail olgavn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

THE INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION OF HIGH-CHROMIUM CAST IRONS ON THE MACHINABILITY

Purpose. This research is aimed to obtain the regression dependence of the machinability on the chemical composition of pig iron (C, Cr, Mn and Ni) in cast state. **Methodology.** The method of active experiment planning was used to build a mathematical model. Cast irons of composition 1.09...3.91 % C; 11.43...25.57 % Cr; 0.6...5.4 % Mn; 0.19...3.01 % Ni were studied. Cutting tools with plates 10x10 mm out of BK8 according to State Standard 19051-80 were used for turning. Cutting modes: cutting depth – 0.8 mm, longitudinal feed – 0.15 mm/rot., spindle's rotation frequency during turning – 200...360 rot./min. Lubricating and cooling liquids were not applied. Evaluation

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

of iron workability was produced by determining the linear tool flank wear per unit length of the cutting path. **Findings.** Mathematically probabilistic equation of the regression dependence of the cutting tool's wear on the C, Cr, Mn and Ni content in the machined cast iron were obtained. It was established that with the increase of Cr content in the cast iron to 14.8 % the cutting tool's wear decreased as a result of formation of carbide eutectic which destroyed the doped ledeburite continuous frame. Further increase of chromium content promoted appearing of chromic carbides with high microhardness which considerably increased the tool's wear. The conducted research shown that the minimum cutting tool's wear 0,18 mkm/m was observed during the machining of cast iron containing: 1.09 % C, 14.8 % Cr, 2.3 % Mn and 1.2 % Ni; and the maximum wear is 48,96 mkm/m – when the content was: 3.91 % C, 11.43 % Cr, 5.4 % Mn and 0.19 % Ni. The tool's wear reached 47.61 mkm/m during the treatment of cast iron containing 3.91 % C, 25.57 % Cr, 5.4 % Mn and 0.19 % Ni. **Originality.** Mathematically probabilistic model of the dependence of the cutting tool's wear on the C, Cr, Mn and Ni content in the machined cast iron has been elaborated by the author. **Practical value.** The model allows optimizing the compositions of wear-resistant cast irons for castings which require the significant mechanical machining. Cast irons compositions were recommended for different exploitation conditions.

Keywords: wear-resistant cast iron; alloying; structure; cutting; cutting tool's wear

REFERENCES

1. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Morphology of structure and strain hardening of steel]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
2. Vakulenko I.O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in material science]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 124 p.
3. Vakulenko I.O., Kadylnykova T.M., Proidak S.V. *Tekhnologiya mekhanichnoi obrabotki metalevykh materialiv* [Technology machining of metallic materials]. Dnepropetrovsk, Standart-Servis Publ., 2014. 176 p.
4. Berkun M.N., Volchok I.P., Zhivitsa I.V., Topal V.I. Vliyaniye termicheskoy obrabotki na svoystva vysokokhromistogo chuguna [Heat treatment impact on the properties of high chrome cast iron]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Material Science and Heat Metal Treatment*, 1971, no. 1, pp. 64-66.
5. Volchok I.P., Netrebko V.V. Osobennosti legirovaniya margantsem iznosostoykikh vysokokhromistykh chugunov [Manganese doping features of wear-resistant and high chrome cast iron]. *Lite i metallurgiya – Casting and Metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 162-165.
6. Garber M.Ye. *Iznosostoykiye belyye chuguny* [Wear-resistant white cast irons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2010. 280 p.
7. Gudremon E. *Spetsialnyye stali. T. 1.* [Special steel. Vol. 1]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966. 736 p.
8. Kirillov A.A., Belov V.D., Rozhkova Ye.V. Strukturno i nestrukturno chuvstvitelnyye svoystva khromistykh chugunov [Structural and nonstructural sensitive properties of chromium cast iron]. *Chernyye metally – Ferrous*, 2007, no. 9, pp. 7-13.
9. Netrebko V.V. Vliyaniye margantsa na strukturu vysokokhromistykh chugunov [The influence of manganese for structure of high-chromium white cast iron]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 167-169.
10. Netrebko V.V. Vliyaniye fizicheskikh i teplovykh protsessov na strukturu i svoystva vysokokhromistogo chuguna pri obrabotke rezaniyem [Influence of physical and heat processes on the structure and properties of high-chromium cast iron during machining]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 6 (54), pp. 97-103. doi: 10.15802/stp2014/33395.
11. Chabak Yu.G., Yefremenko V.G., Kravtsov A.S. Novyye podkhody k vyboru rezhima smyagchayushchey termicheskoy obrabotki vysokokhromistykh chugunov [New approaches to the selection mode of softening heat treatment of high chrome cast iron]. *Tezisy dokladov 73-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta»* [Proc. of 73^d Int. Sci. and Practical Conference «Development questions and prospects of railway transport»]. Dnepropetrovsk, 2013, pp. 282-283.
12. Chabak Yu.G. Vliyaniye rezhima otzhiga na mikrostrukturu i tverdost vysokokhromistykh chugunov s povyshennym soderzhaniyem austenitobrazuyushchikh elementov [Annealing cycle effect on the

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- microstructure and hardness of high chrome cast iron with a high content of austenite-promoting elements]. *Sbornik nauchnykh trudov «Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye»* [Proc. «Construction, Materials Science, Mechanical Engineering»]. Dnepropetrovsk, 2013, issue 67, pp. 188-192.
13. Chabak Yu.G., Yefremenko V.G., Stanishevskiy R.R. Strukturnyye izmeneniya v kompleksnolegirovannom belom chugune pri destabiliziruyushchem nagreve [Structural changes have in complex alloying white iron during destabilizing heating]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 229-232.
 14. Kopyciński D., Kawalec M., Szczęsny A., Gilewski R., Piasny S. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides. *Archives of Metallurgy and Materials. Institute of metallurgy and materials science of Polish academy of sciences*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 973–976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
 15. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials. Institute of metallurgy and materials science of Polish academy of sciences*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 895-897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
 16. Gierek A., Bajka L. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne. Katowice, Slask Publ., 1976. 230 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. А. Митяевым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 20.11.2015

Принята к печати: 15.01.2016