

ПОКРАЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTI ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ

Лалазарова Н.О., к.т.н., доцент, Омельченко В.В., студент, ХНАДУ,
Попова О.Г., к.т.н., доцент, ХНАЕУ «ХАІ»

Анотація. Досліджено вплив термічної обробки на оброблюваність високохромистого чавуну мінералокерамічним і твердосплавним інструментом, визначений оптимальний режим відпалу і оптимальні швидкості різання.

Ключові слова: високохромистий чавун, карбіди, відпал, структура, різальний інструмент, абразивний знос, оброблюваність.

IMPROVEMENT OF PROCESSING OF HIGH CHROMIUM CAST IRON

Lalazarova N.O., PhD, Associate Professor KhNAHU,
Omelchenko V.V., student, Popova O.G., PhD, Associate Professor,
Kharkiv National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

Abstract. The effect of heat treatment on the machinability of high-chromium cast iron with mineral-ceramic and hard alloy tools was studied, the optimal annealing mode and optimal cutting speeds were determined.

Key words: high chromium cast iron, carbides, annealing, structure, cutting tool, abrasive wear, machinability.

Вступ

Незважаючи на суттєві успіхи за останні роки щодо створення принципово нових матеріалів, особливо на базі порошкової металургії, а також шаруватих і волокнистих композитів, питоме споживання в різних галузях промисловості сталей і чавунів є переважним. Сталь і чавун – це основні, як і раніше, конструкційні матеріали у виробництві гірських машин, великих корпусних виробів складної форми, що технологічно і економічно доцільно з них виготовляти. За умов гострого дефіциту і високої вартості легованих сталей і спеціальних сплавів важливу роль в машинобудуванні мають зносостійкі чавуни з високим рівнем експлуатаційних властивостей [1, 2]. Однак широке використання їх стримується, в тому числі, і через низьку оброблюваність різанням. Структурна неоднорідність, наявність великої кількості складних карбідів, що мають високу твердість і абразивну дію на різальний інструмент, роблять механічну обробку виробів з високохромистих зносостійких чавунів лезовим інструментом практично не можливою [3].

У зв'язку з цим, вирішення проблеми покращення оброблюваності високохромистих чавунів, які мають високу зносостійкість, набуває актуальності.

Існують різні шляхи покращення оброблюваності – вплив на структуру і властивості чавуну та вплив на процес різання через інструмент, змащувально-охолоджувальну рідину, режими різання та ін. Найбільш раціональним з метою покращення оброблюваності високохромистого чавуну є комплексний підхід, який включає обоє шляхи – вплив на структуру термічною обробкою і на процес різання.

Аналіз публікацій

При видобутку і збагаченні руди, вугілля, цементної сировини, каменю та інших копалин через абразивний знос витрачаються сотні тисяч тонн металу. Абразивному зносу піддається велика група машин та устаткування: екскаватори, бульдозери, скрепери, великовантажні автосамоскиди, щоківі і конусні дробарки, млини, відбійні плити, бункери, шламові насоси і трубопроводи до них, центрифуги, класифікатори, флотаційні машини та інше обладнання.

Умови роботи, не пов'язані з великими ударними навантаженнями, дозволяють застосовувати для багатьох машин деталі з білих чавунів різних типів, які, завдяки наявності в їх структурі високотвердих складових - карбідів, мають зносостійкість в 5-10 разів вищу, ніж у конструкційних сталей [4, 5]. З білих високохромистих чавунів виготовляють лопатки дробострумінних апаратів, піскострумінні сопла, робочі колеса, бронеплити насосів і землесосів, кулі кульових млинів, прокатні валки та інші вироби.

Однією з істотних причин, що стримують застосування багатьох марок білих зносостійких чавунів, є їх структурна неоднорідність, наявність великої кількості складних карбідів, які характеризуються високою твердістю, що поряд з іншими факторами створює проблеми їх механічної обробки. На оброблюваність чавунів і на знос інструмента впливає структура чавуну (структура металевої основи, тип карбідів, їх розмір і взаємне розташування), а також режими різання, матеріал різальної частини інструмента та інші фактори.

Оброблюваність різанням – це комплекс технологічних характеристик, що визначає здатність матеріалу піддаватися обробці різанням. Це суперечливе поняття. З одного боку (по визначенню), оброблюваність характеризує здатність матеріалу піддаватися обробці різальним інструментом. З іншого боку, можна сказати, що оброблюваність металів різанням відображає сукупність властивостей металів, які обмежують продуктивність обробки, викликають труднощі при отриманні необхідної точності і якості обробленої поверхні, вимагають для обробки спеціальних пристосувань і створюють інші труднощі при обробці заготовок. Поняття оброблюваності не має чіткого визначення.

Оброблюваність визначає продуктивність, якість і собівартість продукції. Не дивлячись на важливість цього поняття, загальноновизнаний підхід до проблеми оброблюваності відсутній.

Аналіз методів покращення оброблюваності високохромистих чавунів за рахунок зміни хімічного складу і структури – шляхом проведення термічної

обробки, знеміцнення поверхневого шару показав їх достатню ефективність, однак вони мають високу вартість [6, 7, 8].

Інший шлях покращення оброблюваності – це вплив на процес обробки. Один з ефективних шляхів інтенсифікації процесу різання твердих матеріалів – застосування сучасних інструментальних матеріалів, наприклад, полікристалічних надтвердих матеріалів або мінералокераміки для лезового інструменту. Полікристалічні надтверді матеріали та мінералокераміка мають значну перевагу в порівнянні з твердим сплавом, перевершують його за твердістю і теплостійкістю, що і визначає високу зносостійкість на високих швидкостях різання при безударному навантаженні.

На основі аналізу літературних даних була визначена мета та завдання досліджень. Мета даної роботи – дослідження впливу складу і структури високохромистого чавуну на показники оброблюваності та розробка режиму термічної обробки для покращення оброблюваності.

Методики досліджень

Дослідження проводилися на високохромистому чавуні, що має хімічний склад: 2,58 % C; 18,8 % Cr; 0,74 % Si; 1,10 % Mn; 0,07 % P; 0,04 % S; 1,28 % Ni; 0,98 % Mo; 0,03 % Mg. Для виявлення структури чавуну застосовували травлення реактивом: 4 % пікринової кислоти, інше – етиловий спирт.

Рентгеноспектральний мікроаналіз проводили на растровому електронному мікроскопі-аналізаторі РЕММА 101А.

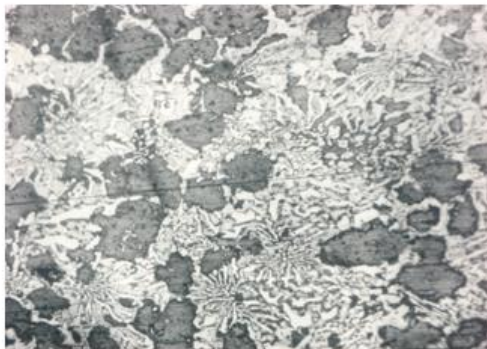
Вимірювання мікротвердості проводили втискуванням чотиригранної алмазної піраміди з навантаженням 50 г на дослідницькому комплексі на основі мікротвердоміра ПМТ-3.

На підставі літературних даних в якості інструментальних були обрані матеріали: квадратні пластини з твердого сплаву марки ТК2001 (класифікація за ISO – К20) (Швеція, «SECO»), квадратні пластини на основі інструментальної кераміки ВОК-71. Дослідження проводилися при напівчистовій (твердий сплав) і чистовій (мінералокераміка) обробці на токарно-гвинторізному верстаті 1К62. Геометричні параметри пластин досягалися за рахунок установки в державках.

Для дослідження оброблюваності високоміцних чавунів застосовувався класичний метод, який повністю відтворює процес обробки. Класичні методи дослідження оброблюваності полягали в отриманні залежності інтенсивності відносного зносу від швидкості різання. Критерієм для оцінки оброблюваності служить знос різця по задній поверхні. Випробування проводили при $S = 0,07$ мм / об, $t = 0,4$ мм, $T=60$ хв на зразках діаметром 80 мм і довжиною 500 мм. Як критерій зносу приймалися такі значення ширини фаски зносу по задній поверхні: твердий сплав – 0,8 мм, мінералокераміка – 0,6 мм.

Дослідження впливу термічної обробки на оброблюваність високохромистого чавуну

Високохромисті чавуни є складними багатокомпонентними сплавами. На рис. 1 наведена структура високохромистого чавуну в литому стані.



збільшення $\times 100$

Рисунок 1 - Структура високохромистого чавуну в литому стані

Мікроструктура сплава неоднорідна – до 5 % перліту, залишковий аустеніт і мартенсит. Рентгеноспектральними дослідженнями виявлені карбіди типу $(Cr, Fe)_7C_3$ і $(Cr, Fe, Mo)_{23}C_6$ у вигляді суцільних грубих голкоподібних колоній. Середнє значення твердості чавуну – 50 HRC.

Найкращу оброблюваність мають зносостійкі сплави, структура металевої основи яких зернистий перліт з низькою мікротвердістю (до 2000-3000 МПа), який не піддається наклепу при різанні. М'яка металева основа полегшує видалення різцем навіть достатньо твердих карбідів з матриці. Карбідна фаза повинна складатися з ізольованих тригональних карбідів. Видалення з оброблюваного матеріалу ізольованих карбідів значно легше, ніж карбідів, які пов'язані в суцільний каркас.

Для отримання подібної структури досліджували зразки чавуну із вмістом 18,8 % хрому піддавали різним видам відпалу.

Зразки 1, 2, 3 піддавали низькотемпературному відпалу за режимом: нагрів до 750 °С з витримкою $\tau=3, 12, 24$ години відповідно і охолодження з піччю при $V_{ох}=40-50$ °/год. В результаті твердість зразків знизилася до 42–43 HRC (табл. 1). Мікроструктура зразків складалася з перлітної фази з мікротвердістю 2940 МПа і карбідної фази, яка представлена голчастими карбідами, що місцями створюють каркасні скупчення. Збільшення витримки з 3 до 24 годин дозволило зменшити твердість зразків (з 42–43 HRC при $\tau=3$ до 33–35 HRC при $\tau=24$ год) при цьому відбулися зміни структури – замість суцільних грубих голкоподібних колоній утворилися рівномірно розподілені карбіди.

Зразки 4-9 піддавали відпалу з нагрівом до 900 °С і видержкою $\tau=1, 2, 3, 4, 12, 21$ година при швидкості охолодження $V_{ox}=40-50$ °/год. Твердість зразків змінювалася в інтервалі 31–41 HRC. Мікроструктура складалася з зернистого перліту з мікротвердістю 2220–2840 МПа і карбідної фази, представленою карбідами $(Cr_2Fe)_7C_3$ з мікротвердістю 12900–16200 МПа.

При нагріві зразків 10–11 до 1150 °С з видержкою $\tau = 3$ і 5 годин твердість знизилась до 33 – 40 HRC, мікротвердість зернистого перліту до 2480 – 2520 МПа, карбідної фази до 14050 – 16300 МПа. Твердість зразка 12 32 – 34 HRC була отримана при відпалі за режимом: температура нагріву – 1150 °С з видержкою $\tau = 24$ год, при цьому перліт мав мікротвердість 2400 МПа, а карбідна фаза, представлена карбідами рівноважної форми, практично не змінила своєї мікротвердості – 12100 МПа.

Таким чином відпал з нагрівом до 750, 900, 1150 °С при однаковій витримці 3 години і повільному охолодженні з піччю ($V_{ox}=40 - 50$ °С/год) сприяв перетворенню структури металевої матриці в зернистий перліт, причому підвищення температури нагріву сприяло коагуляції і укрупненню карбідів зернистого перліта (бал зернистості змінився з 2-го до 5-6-го).

Збільшення часу видержки при температурі 1150 °С з 3-х до 24-х годин при повільному охолодженні з піччю ($V_{ox}=40-50$ °С/год) сприяло більш повному протіканню дифузійних процесів, при цьому мало місце інтенсивне збіднення вуглецем деяких мікроділянок з виникненням феритної структури.

Таблиця 1 – Властивості чавуну після термічної обробки

№ зразка	Вид термічної обробки	Режим термічної обробки		Швидкість охолод., °С/год	Твердість HRC	Мікротвердість, МПа	
		нагрів, °С	час витр., год			перліта	карбіда
1	відпал	750	3	40	42-43	2940	15800
2	відпал	750	12	40	35-38	2480	14100
3	відпал	750	24	40	33-35	2340	13050
4	відпал	900	1	40	39-41	2760	16200
5	відпал	900	2	40	39-41	2660	15300
6	відпал	900	3	40	38-40	2500	15750
7	відпал	900	4	100	38-40	2840	14100
8	відпал	900	12	40	35-36	2500	13900
9	відпал	900	21	40	31-33	2220	12900
10	відпал	1150	3	40	35-37	2420	14050
11	відпал	1150	3	100	33-40	2520	16300
12	відпал	1150	24	40	32-34	2340	12100

Проведені експерименти показали, що в процесі термічної обробки спостерігаються зміни як металевої основи (зниження мікротвердості, збільшення дисперсності фаз), так і карбідної фази – зменшується мікротвердість, відбу-

вається подрібнення і послаблення карбідного евтектичного скелета в результаті перебудови сотової евтектики в пластинчасту.

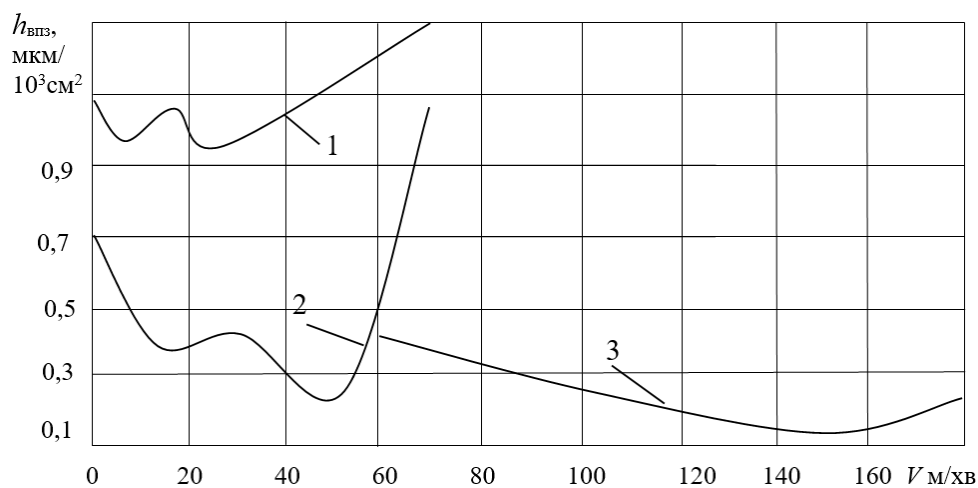
Виходячи з економічних міркувань в якості оптимального режиму відпалу можна рекомендувати наступний: нагрів до 900 °С з видержкою $\tau = 3$ години при $V_{ox} = 40$ °/год, твердість знижується до 38 – 40 HRC. Збільшення температури і часу видержки здорожує процес виготовлення деталей. Отримана твердість дозволяє обробляти чавун твердосплавними та мінералокерамічними інструментальними матеріалами.

Дослідження багатьох авторів показали, що обробка високохромистих чавунів супроводжується високим рівнем температур, сил різання та інтенсивним зносом різального інструменту [9]. Результати досліджень інтенсивності відносного зносу твердосплавного інструменту показали, що ця залежність із збільшенням швидкості різання носить екстремальний характер (рис. 2).

Інтенсивність відносного зносу інструменту вище при напівчистовій обробці литого чавуну (рис. 2, крива 1), чим відпаленого (рис. 2, крива 2), в 4,5 рази.

При чистовій обробці використовували інструмент з інструментальної мінералокераміки ВОК-71. Інтенсивність відносного зносу мінералокерамічного інструменту при чистовій обробці відпаленого чавуну нижче (рис. 2, крива 3), чим твердосплавного, в 1,8 – 2 рази, що дозволяє рекомендувати його для чистової обробки високохромистого чавуну.

Визначена оптимальна величина швидкості різання при обробці литого чавуну твердим сплавом – 25 м/хв, відпаленого чавуну твердим сплавом – 50 м/хв, мінералокерамікою – 150 м/хв, тобто при заміні твердосплавного інструменту мінералокерамікою продуктивність обробки збільшилася в 3 рази.



- 1 – обробка литого чавуну твердим сплавом,
- 2 – обробка відпаленого чавуну твердим сплавом,
- 3 – обробка відпаленого чавуну мінералокерамікою

Рисунок 2 – Вплив структури чавуну на інтенсивність відносного зносу інструмент

Таким чином, аналіз показників оброблюваності високохромистого чавуну свідчить про ефективність запропонованого режиму відпалу (нагрів до 900 °С з видержкою $\tau = 3$ години при $V_{\text{ох}} = 40$ °С/год) для покращення оброблюваності високохромистого чавуну заданого складу за рахунок отримання структури зернистого перліту і рівноважних карбідів, які не поєднані в суцільний каркас.

Така структура металевої основи і карбідів забезпечує зменшення зносу інструменту і покращення оброблюваності високохромистого чавуну.

Висновки

1. Високохромисті чавуни є складними багатокomпонентними сплавами з неоднорідною структурою.

2. Рентгеноспектральними дослідженнями в структурі литого високохромистого чавуну виявлені карбіди типу $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$; $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$; $(\text{Cr,Fe,Mo})_{23}\text{C}_6$ у вигляді суцільних грубих голкоподібних колоній.

3. Відпал за режимом: нагрів до 900 °С з витримкою $\tau = 3$ години при $V_{\text{ох}} = 40$ °/год є оптимальним з точки зору оброблюваності та економічності – отримана твердість 38 – 40 HRC дозволяє проводити лезову механічну обробку.

4. Структура металевої основи високохромистих чавунів після відпалу – зернистий перліт та ізольовані карбіди. Видалення з м'якої металевої основи ізольованих карбідів значно легше, ніж карбідів, які пов'язані в суцільний каркас.

5. Аналіз результатів оцінки оброблюваності показав, що інтенсивність зносу твердосплавного інструменту в 4,5 рази менше при обробці відпаленого чавуну у порівнянні з литим, а мінералокерамічного в 1,8-2 рази менше, чим твердосплавного.

Література

1. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576с.

2. Калашникова А.Ю., Иванова Л.Х. Модифицированные хромистые чугуны // Литье. Металлургия. 2016: Материалы XII междунар. науч.- практ. конф., 24-26 мая 2016 г.: тезисы докл. – Запорожье: Ред.отдел ЗТТП, 2016. – С.104–105.

3. Нетребко В.В. Влияние химического состава высокохромистых чугунов на обрабатываемость резанием // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 122-130.

4. Попова Е.Г. Исследование структуры и фазового состава высокохромистых сплавов рабочего слоя центробежнолитых валков // Вестник ХГПУ. – Харьков. – 2000. – Вып. 78. – С. 28 – 29.

5. Федотьев А. Н., Федотьева Л. П. Пути повышения обрабатываемости высокохромистых белых чугунов // Научный Вестник ДГМА. – 2013. – № 1 (11Е). – С. 122-129.

6. К выбору технологической схемы смягчающей термической обработки высокохромистого чугуна / Ефременко В. Г. и др. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014. – № 2 (50).

7. Радченко К. С., Ямшинский М. М., Фёдоров Г. Е. Оптимизация режимов смягчающего отжига износостойких хромомарганцевых чугунов для улучшения их обрабатываемости резанием // Металл и литьё Украины. – 2015. – № 12 (271). – С. 26-32.

8. Беликов С. Б., Волчок И. П., Нетребко В. В. Оптимизация состава и свойств износостойких высокохромистых чугунов. Високі технології в машинобудуванні. – 2015. – Вип. 1 (25). – С. 18-26.

9. Дидык Р. П., Кравченко Ю. Г., Мелещик В. А. Силы и температура резания при точении композитами износостойких чугунов. *Зб. нау. праць НГУ*. Дніпропетровськ. 2002. С.64-69.