

УДК 669.018.25

Васильченко Я. В.

ВПЛИВ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ НА ВТОМЛЕНУ МІЦНІСТЬ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

Підвищення характеристик конструкційної міцності та опору руйнуванню інструментального матеріалу при статичному і циклічному навантаженні різального інструменту є актуальною проблемою. З цією метою пропонується модифікувати твердосплавний різальний інструмент методом обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) [1, 2]. Надійні оцінки границі витривалості при циклічному навантаженні в умовах гармонічного та динамічного режимів зміни напружень у циклі для модифікованих твердих сплавів, що враховують особливості роботи важких верстатів, відсутні. Проведення відповідних експериментальних досліджень потребує розроблення спеціальних методик, багато часу і значних матеріальних витрат. Тому для оперативних попередніх оцінок ефективності режимів обробки за характеристиками втомної міцності корисними можуть бути непрямі розрахункові методи прогнозування, що базуються на узагальненні відомих експериментальних результатів по цьому напрямку.

Метою роботи є оцінка можливості прогнозування характеристик циклічної міцності твердих сплавів на основі експериментальних значень статичної міцності, в тому числі для сплавів, модифікованих методом ОІМП.

Найбільш детально досліджено міцність і довговічність основних типів вітчизняних твердих сплавів у роботі [3]. Серед важливих характеристик міцності твердих сплавів для важких умов експлуатації, окрім твердості, визначальними вважаються міцність на згин при статичному та циклічному навантаженні. У табл. 1 наведено характеристики міцності деяких вольфрамкобальтових та титановольфрамкових твердих сплавів [3–6], які можуть бути використані для визначення базових закономірностей зміни їх співвідношення з рівнем короткочасної міцності на згин.

Таблиця 1

Міцність на згин і механічні характеристики твердих сплавів

Марка сплаву	Кобальт	Границя міцності на згин σ_n дані випробувань [3], (інші дані), МПа	Границя витривалості при пульсуючому циклі, МПа та співвідношення з σ_n			Твердість HV, $\times 10^{-3}$ МПа	Ударна в'язкість a , $\times 10^{-3}$ Дж/м ²
			σ_{0n}/σ_n (10^5 цикл)	$\sigma_{0уд}/\sigma_n$ (10^5 цикл)	$\sigma_{0уд}/\sigma_n^*$ (2×10^5 цикл)		
ВК 6	6	1450 (1300-1900)	-820/0,56 (1250/0,69)	900/0,61	5600/3,8	15,0	16,7
ВК 8	8	1480 (1480-2000)	1030/0,62	1100/0,66	5300/3,2	14,0	20,6
ВК10	10	1764 (1764-2000)	1120/0,63	1230/0,70	5100/2,9	-	-
ВК 15	15	1900 (1862-2200)	1350/0,71	1480/0,79	4800/2,6	11,5	31,39
ВК 20	20	2160 (2000-2580)	1445/0,67	1590/0,62	4200/1,6	9,8	37,28
T15K6	6	1100 (1100-1300)	900/0,75 (1150/0,88)	-	-	-	18,0
T14K8	8	1270 (1150-1300)	-800/0,63 (1250/0,85)	-	-	-	17,0
T5K10	10	1550 (1150-1700)	930/0,6 (1250/0,80)	-	-	-	22,0

*для зерна 1 мкм

Для порівняння механічних характеристик сплавів групи ВК приймали рівні міцності на згин за результатами випробувань дослідженої у [3] партії твердих сплавів, які відрізнялися від наведених даних за ГОСТ 3882-74 та іншим джерелам (дано у дужках). За відсутності цих результатів (ВК 10) порівняння вели на основі даних ГОСТ 3882-74.

Міцність на згин σ_n сплавів ВК та ударна в'язкість a підвищуються із збільшенням процентного вмісту кобальту. По відношенню до сплаву ВК8 міцність на згин сплаву ВК20 збільшується у 1,5 рази, а ударна в'язкість більше ніж удвічі. Така важлива закономірність є справедливою і для границі витривалості сплавів при гармонічному та ударному циклічному навантаженні при пульсуючому циклі. При цьому зменшується твердість по Вікерсу (для сплаву ВК20 у 1,5 рази). Важливою тенденцією є також зменшення міцності на стиск при циклічному ударному навантаженні (у 2,37 рази).

За наведеними результатами були розраховані середні значення співвідношення границь витривалості сплавів до міцності на згин при статичному навантаженні. Для сплавів ВК при гармонічних циклічних випробуваннях σ_{0n}/σ_n було у діапазоні 0,55–0,72, при динамічних – $\sigma_{0уд}/\sigma_n$ знаходилось у діапазоні 0,6–0,8. Дещо більшим це співвідношення є для сплавів групи ТК. Діапазон експериментального співвідношення σ_{0n}/σ_n при гармонічних циклічних випробуваннях сплавів ТК склав 0,6–0,8.

На рівень границі витривалості твердих сплавів значно впливає метод обробки інструменту. Залежно від нього границя витривалості для сплаву ВК8 знаходиться у межах від 420 МПа після електроіскрової обробки до 1050 МПа при якісному алмазному обробленні кругом АСМ 40Б. Відповідний діапазон зміни границі витривалості для сплаву Т5К10 складає 420–930 МПа [6].

Стандартні методи випробувань твердих сплавів на згин та інші види тестування з використанням спеціальних зразків не відображають реальних властивостей інструменту внаслідок великої різниці у технології їх виготовлення, конструкції, фактичного напруженого стану та геометрії робочої частини по відношенню до відповідальних ділянок інструменту у зоні різання. Але вони визначають важливі тенденції механічної поведінки, які можуть бути базовими для орієнтовної оцінки роботоздатності нових інструментальних матеріалів та контролю якості інструменту за відсутності можливості виконання відповідних складних експериментів. Важливість розвитку методів контролю або прогнозування міцності та довговічності зростає внаслідок запровадження нових технологій зміцнення твердих сплавів за рахунок об'ємної та поверхневої модифікації. Нажаль, конкретні результати модифікації та дані щодо фактичного рівня підвищення міцності та ресурсу інструменту не надаються виробниками.

У табл. 2 дано результати випробувань конструкційної міцності на згин квадратних змінних різальних пластин із твердого сплаву Т5К10 з розмірами $16 \times 16 \times 5$ мм, що використовуються для токарних прохідних і розточних різців і торцевих фрез. На різальні поверхні пластин було нанесено PVD – покриття завтовшки 5 мкм. Для підвищення міцності пластини було модифіковано з використанням обробки імпульсним магнітним полем.

Застосовували два експериментальні режими оброблення, що відрізнялися потужністю випромінювання та напруженістю магнітного поля.

Пластини випробували на трьохточковий згин. Поверхню з різальною кромкою та покриттям розташовували у зоні дії напружень розтягу. Тестування проведено на гідравлічній машині ZD-4 з швидкістю навантаження 6,5–10 МПа/с. Випробували три партії пластин кількістю по 5 шт. Для порівняння міцності традиційних зразків $\sigma_{н зр}$ з цього сплаву з реальним рівнем міцності у різальних пластинах $\sigma_{н зр}$ у таблиці дано відношення $\sigma_{нпл}/\sigma$ з урахуванням діапазону зміни літературних даних за різними джерелами щодо границі міцності сплаву Т5К10 (1150–1700 МПа).

Аналіз отриманих результатів випробування модифікованих різальних пластин сплаву Т5К10 показує, що внаслідок впливу комплексу технологічних і конструкційних факторів конструкційна міцність на згин різальної пластини з твердого сплаву є значно меншою ніж міцність традиційних стандартних призматичних зразків. Залежно від технології оброблення

та умов випробувань зразків міцність реальних різальних пластин може зменшуватися на 10–50 % відносно результатів традиційних механічних випробувань твердих сплавів на згин, що безпосередньо впливає на роботоздатність інструменту, достовірність оцінок його довговічності та на ефективність його застосування у важких умовах різання.

Таблиця 2

Конструкційна міцність на поперечний згин різальних пластин із сплаву Т5К10

Стан пластин	Границя міцності $\sigma_{\text{и пл}}$ на згин, МПа	Розкид $\sigma_{\text{и min}}$ $\sigma_{\text{и макс}}$ МПа	Відношення $\sigma_{\text{и пл}} / \sigma_{\text{и зр}}$	Ступінь зміцнення, %
Вихідний	892	711/1046	0,5–0,75	-
Зміцнений ОІМП по режиму 1	1037	762/1280	0,6–0,9	16
Зміцнений ОІМП по режиму 2	1130	884/1295	0,66–0,98	27

Встановлено також, що застосований спосіб модифікації твердого сплаву Т5К10 дозволяє підвищити його міцність на згин на 16–27 % залежно від режиму оброблення імпульсним магнітним полем.

Для визначення впливу такої модифікації на втомні характеристики було виконано попередню оцінку можливого підвищення границі витривалості пластин при циклічному навантаженні з використанням закономірностей втомного руйнування твердих сплавів та експериментально встановлених співвідношень їх міцності на згин при статичному і циклічному навантаженні.

Внаслідок довготривалості та високої вартості випробувань на втому металевих конструкційних матеріалів широке застосування для оцінки границі їх витривалості отримали непрямі методи, що базуються на результатах статичних випробувань зразків та елементів і результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні.

У перших таких оцінках границю витривалості сталей приймали як певну долю границі міцності в умовах розтягу,

$$\sigma_{-1} = K\sigma_b, \quad (1)$$

де для багатьох сталей приймали $K = 0,4–0,6$ [7, 8].

Залежно від властивостей матеріалу, технології, конструкції та напруженого стану елементів, режимів і умов циклічного навантаження було встановлено чисельні емпіричні залежності між границею витривалості та характеристиками механічних властивостей металів – границею текучості, твердістю та іншими [8]. Для орієнтовної оцінки границі витривалості при розтягу σ_{-1} , згині $\sigma_{-1и}$ і крутінні τ рекомендуються наступні співвідношення: для сталей $\sigma_{\tau-1} = 0,8\sigma_{-1и-1} = 0,8\sigma_{-1и}$, для крихких матеріалів типу чавуну σ_{-1} , для сталей та легких сплавів $\tau_{-1} = 0,55\sigma_{-1и} = 0,65\sigma_{-1}$. Ці співвідношення відображають важливі загальні тенденції але потребують обов'язкового уточнення для оцінки реальної працездатності конструкцій.

Експериментальні результати різних джерел, наведені у табл. 1, та виконане їх узагальнення вказують на те, що залежно від хімічного складу, структури та технологій, застосованих для виготовлення і оброблення інструменту характеристики твердих сплавів можуть визначатися закономірностями, що є характерними для крихких або пружно-пластичних міцних металевих сплавів. Так для сплавів ВК6, ВК8 та ВК10 з меншим вмістом пластичного кобальту параметр $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ коливається від 0,55 до 0,65, як і для чавуну при симетричному циклі навантаження. Для більш пластичного сплаву ВК15 та титановольфрамкових твердих сплавів співвідношення $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ може бути більш високим – від 0,6 до 0,8.

На основі великого обсягу статистично достовірних результатів у роботі [9] було показано можливість надійної оцінки границі втомної міцності при симетричному згині σ_{-1} широкого кола конструкційних металевих сплавів на основі значень їх границі міцності

при статичному розтягу σ . Діапазон значень границі міцності був від 100–650 МПа для сплавів алюмінію до 1700–2150 МПа для вуглецевих і легованих сталей. Для розрахунків використовувалися лінійне та степеневе рівняння лінії регресії:

$$\sigma_{-1} = a + b \sigma_B \quad (2)$$

$$\sigma_{-1} = c \sigma_B^a, \quad (3)$$

яке при логарифмуванні зводиться до лінійного

$$\lg \sigma_{-1} = \lg c + \lg \sigma_B \quad (4)$$

На рис. 1 показано експериментальні залежності границь витривалості для твердих сплавів ВК (крива 1) та титановольфрамкових сплавів (крива 2), побудовані нами за узагальненими результатами, наведеними у табл. 1. Значення границь міцності та витривалості на згин приймали за результатами випробувань і даними [3] (без дужок). Ці значення границі витривалості відповідають меншим величинам співвідношення $\sigma_{0и} / \sigma_{и}$ у порівнянні з показаними у дужках. Такий підхід забезпечує збільшення запасу міцності і довговічності при прогнозуванні втомної міцності твердих сплавів.

Нелінійна форма кривої 1 для сплавів групи ВК не відповідає рівнянням (2) і (3) і при $\sigma_{и} \geq d$ краще може бути апроксимована емпіричним рівнянням:

$$\sigma_{0и} = b + c (\sigma_{и} - d)^a, \quad (5)$$

де параметри $b = 500$, $c = 1,55$, $d = 1000$, $a = 0,9$.

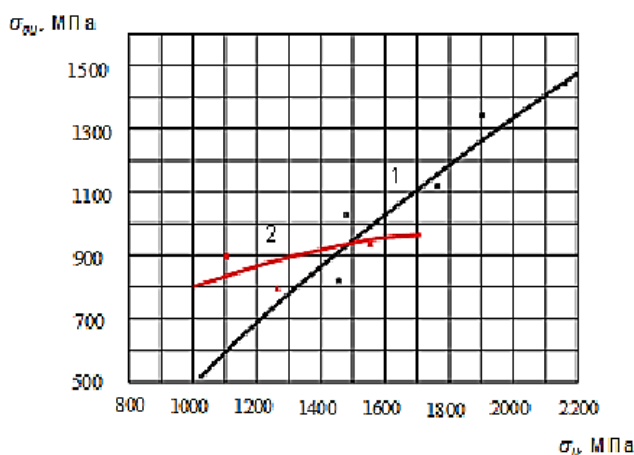


Рис. 1. Узагальнені залежності границь витривалості від статичної міцності на згин для твердих сплавів ВК (1) та ТК(2)

Таким чином, використання графіка (рис.2) дозволяє зробити прогноз щодо приросту $\sigma_{0и}$, виходячи з експериментально отриманого значення σ модифікованого сплаву. Так, очікуємо, що зразку з Т5К10, модифікованому ОІМП за режимом 1 ($\sigma_{и} = 1037$ МПа) відповідає $\sigma_{0и} = 830$ МПа, а за режимом 2 ($\sigma_{и} = 1130$ МПа) – $\sigma_{0и} = 860$ МПа. З рис.1 видно, що залежність границі витривалості при гармонічному циклічному навантаженні від статичної міцності на згин для сплавів ВК характеризується більш значним підвищенням значень із збільшенням $\sigma_{и}$.

На рис. 2 дано загальні тенденції механічної поведінки сплавів ВК при циклічному гармонійному (крива 2) та динамічному навантаженні (крива 1) при згині та динамічному навантаженні в умовах стиску (крива 3), встановлені за результатами аналізу даних табл. 1. Слід зазначити, що для сплавів групи ВК залежності співвідношення $\sigma_{0и}$ та σ від $\sigma_{и}$ як при гармонійному, так і при динамічному навантаженні мають явно виражений екстремум, а залежність співвідношення границі витривалості при динамічному навантаженні в умовах дії напружень стиску за пульсуючим циклом σ та $\sigma_{0ст}$ монотонно та лінійно спадає із зростанням $\sigma_{и}$.

Більшість розглянутих сплавів відноситься до крихких та квазікрихких матеріалів з значною різницею опору руйнуванню при розриві в умовах розтягу, згину та стиску. Тому встановлена принципова різниця кривих 1, 2 та 3 може мати важливе значення при оцінці

конструкційної міцності розглянутих матеріалів в умовах складного напруженого стану, який є характерним для різального інструменту. Вона дозволяє враховувати визначені особливості втомної міцності твердих сплавів при різних видах напруженого стану на стадії попередньої оцінки ефективності застосованих методів модифікації матеріалу та можливого підвищення роботоздатності різальних інструментів.

Слід підкреслити необхідність експериментального уточнення отриманих таким чином оцінок обраних режимів оброблення з використанням результатів спеціальних механічних випробувань та експериментів по визначенню стійкості та міцності модифікованого інструменту у лабораторних та реальних умовах різання, характерних для виробів важкого машинобудування.

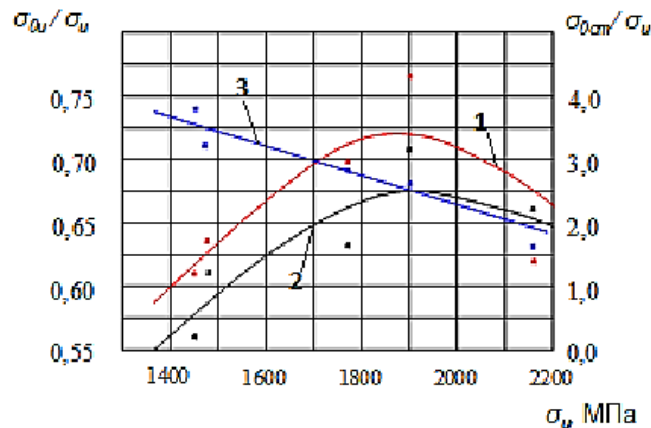


Рис. 3. Закономірності механічної поведінки сплавів ВК при циклічному гармонійному та динамічному навантаженні при згині та стиску.

ВИСНОВКИ

Показано, що методом, який базується на результатах статичних випробувань зразків з твердих сплавів та результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні, можна отримати прогнозні значення границі витривалості.

Отримано, що модифікація твердого сплаву Т5К10 обробкою імпульсним магнітним полем залежно від застосованих режимів призводить до зростання границі міцності на згин при статичному навантаженні на 16–27 %, що дозволяє прогнозувати зростання границі витривалості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каталог изделий из твердых сплавов. – ГНПП «Алкон-твердосплав». – Київ. – 2013. [Електроний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ism.kiev.ua/publications/katalog.pdf>.
2. Клименко Г. П. Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента: Учеб. пособие / Г. П. Клименко. – ДГМА. Краматорск. – 2006. – 200 с.
3. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов / М. Г. Лошак – Киев : Наук. Думка, 1984. – 328 с.
4. Твердые сплавы. Библиотека технической литературы. – 2013. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://bibl.ru>.
5. Куклин Л. Г. Влияние качества поверхности твердого сплава на его усталостную прочность / Л. Г. Куклин // Станки и инструмент. – 1968. – № 3. – С. 30–41.
6. Конструкционные материалы / под ред. Б. Н. Арзамасова. – Москва, «Машиностроение», 1990.
7. Хейвуд Р. Б. Проектирование с учетом усталости / Р. Б. Хейвуд; пер. с англ. под ред. И. Ф. Образцова. – М. : Машиностроение. – 1969. – 504 с.
8. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие / В. Т. Троценко, А. Я. Красовский, В. В. Покровский, Л. А. Сосновский, В. А. Стрижало; под ред. В. Т. Троценко. – Т. 2. – Киев, Наукова думка. – 1994. – 701 с.
9. Степнов М. Н. Усталость материалов и конструкций. – Учебный курс / М. Н. Степнов – М. : МАТИ-РГТУ им. К. Э. Циолковского. – 2013. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : www.mysopromat.ru.