

Є. Мироненко, В. Калініченко, В. Хорошайло,
Д. Гузенко, Краматорськ, Україна

СПЕЦИФІКА ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН З ПОКРИТТЯМ ПРИ ЧОРНОВІЙ ТА НАПІВЧИСТОВІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Анотація. У статті на основі результатів досліджень узагальнені специфічні особливості чорнкової та напівчистої токарної обробки деталей важкого машинобудування різцями з твердосплавними різальними пластинами з покриттям. Обґрунтовано вибір марок твердих сплавів з покриттям, найбільш перспективних для використання при чорновій та напівчистої токарній обробці сталевих деталей на важких верстатах.

Ключові слова: деталі важкого машинобудування, чорнова токарна обробка, напівчистова токарна обробка, твердосплавна різальна пластина, покриття, зношування, поламка, викривлення, працездатність, продуктивність обробки, енергоефективність.

Вступ. Постановка проблеми.

Важке машинобудування є основою машинобудівного комплексу України. Технічний рівень та ефективність технологічних процесів підприємств важкого машинобудування значною мірою визначають загальний рівень промислового розвитку держави. Тож підвищення ефективності технологічних процесів важкого машинобудування, зокрема процесів механічної обробки деталей, є і надалі залишатиметься актуальною науково-практичною задачею. Важливим чинником забезпечення високої ефективності механічної обробки деталей важкого машинобудування є широке впровадження та раціональне використання сучасного високопродуктивного та надійного різального інструменту, зокрема, зі зносостійким покриттям.

Значну частку деталей важкого машинобудування складають деталі-тіла обертання (валки прокатних станів з великим діаметром бочки, ротори енергетичних установок, корабельні гребні вали тощо). У структурі загальної трудомісткості обробки таких деталей переважає токарна обробка на важких верстатах, причому основні витрати часу припадають на високоенергомісткі процеси чорнового та напівчистового точіння, що характеризуються важкими умовами роботи інструменту і, відповідно, – невисокими показниками його працездатності. Тому всебічне вивчення проблеми ефективної чорнкової та напівчистої токарної обробки деталей важкого машинобудування сучасним

твердосплавним інструментом з покриттям має вагоме практичне значення.

Аналіз досліджень та публікацій з проблеми, що розглядається.

Загальні теоретичні відомості про вплив зносостійкого покриття на характеристики процесу різання та працездатність інструменту при різних процесах механічної обробки представлені у роботах [1–4]. Разом з тим, використання твердосплавного інструменту з покриттям при чорновій та напівчистовій токарній обробці деталей важкого машинобудування має свою власну специфіку, яку необхідно враховувати при призначенні раціональних умов обробки на важких токарних верстатах. Окремі результати досліджень працездатності різців з твердосплавними різальними пластинами з покриттям при чорновій та напівчистовій токарній обробці деталей важкого машинобудування наведені у попередніх роботах [5–9] співавторів даної статті. Зокрема, у роботах [5–7] наведені та проаналізовані результати експериментальних досліджень чорнкової токарної обробки деталей важкого машинобудування різцями, оснащеними спеціальними багатограними різальними пластинами з твердого сплаву з покриттям GC 4025 виробництва фірми «Sandvik Coromant». У роботі [8] наведені результати виробничих стійкісних випробувань різців з твердосплавними різальними пластинами з покриттям провідних світових фірм-виробників при напівчистовій токарній обробці валків прокатних станів у діапазоні діаметрів бочки Ø 521...1300 мм. У роботі [9] представлено стислий аналіз основних результатів стійкісних випробувань різців з різальними пластинами форми SCMT 380932 з твердих сплавів з покриттям різних виробників при чорновій токарній обробці бочок прокатних валків у діапазоні діаметрів бочки Ø 1120...1590 мм. Результати випробувань дозволяють визначити перспективні для використання у досліджуваних областях обробки марки твердих сплавів з покриттям.

Огляд невирішених частин проблеми.

Наведений у роботах [5–9] фактичний матеріал підтверджує можливість використання різців з твердосплавними різальними пластинами з покриттям різних фірм-виробників в реальних виробничих умовах чорнкової та напівчистої токарної обробки деталей важкого машинобудування. Разом з тим, обґрунтований вибір конкретної марки твердого сплаву з покриттям та призначення раціональних умов обробки має базуватись на вивченні та подальшому врахуванні специфіки токарної обробки на важких верстатах і факторів впливу покриття та його

характеристик на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки.

Мета роботи – на основі аналізу результатів виробничих випробувань різців з твёрдосплавними різальними пластинами зі зносостійким покриттям провідних світових фірм-виробників при чорновій та напівчистовій токарній обробці деталей важкого машинобудування узагальнити специфічні особливості досліджуваних процесів обробки, що справляють вплив на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки, та обґрунтувати вибір марок твёрдих сплавів з покриттям, перспективних для використання у зазначених умовах обробки.

Основна частина

Для виконання поставленої мети були докладно проаналізовані результати проведених на базі ПрАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ) виробничих випробувань збірних різців з твёрдосплавними різальними пластинами зі зносостійким покриттям провідних світових виробників в умовах чорнкової та напівчистої токарної обробки валків прокатних станів з великим діаметром бочки, в тому числі досліджень, раніше представлених у публікаціях [5–9] співавторів даної роботи.

Валки прокатних станів з великими діаметрами бочки належать до характерних деталей важкого машинобудування. Приклади характеристик деяких валків прокатних станів виробництва ПрАТ «НКМЗ» з великими діаметрами бочки (за даними роботи [10]) наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики деяких валків прокатних станів виробництва ПрАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ) (за даними роботи [10])

Габаритні розміри валків (діаметр бочки × довжина бочки × довжина деталі), мм	Маса валків, т	Матеріал валків	Твердість бочки та шийок	Точність валків	Шорсткість поверхні
1600×2700×6700 1500×2500×6300 1400×2000×5500 1200×1200×5000 1100×1500×4800	12–60	Сталь 50, 50ХН, 60ХН, 75Х2МФ, 75ХМФ, 90ХФ, 70Х3ГНМФ та ін.	Бочки та шийок до <i>HB</i> 320; бочки від <i>HSD</i> 60 до <i>HSD</i> 85; шийок від <i>HSD</i> 30 до <i>HSD</i> 55	Биття бочки та шийок від 0,02 мм до 0,005 мм	Від R_a 3,2 мкм до R_a 0,4 мкм

За результатами аналізу виробничої технології у роботі [8] були виділені наступні особливості токарної обробки бочок сталевих прокатних валків з великими діаметрами бочки, що справляють негативний вплив на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки та значною мірою є характерними і для токарної обробки інших деталей важкого машинобудування:

- великі значення та нерівномірний характер припуску на обробку, що обумовлює високі силові навантаження у зоні різання;

- технологічні проблеми, обумовлені невисоким рівнем оброблюваності багатьох з використовуваних у якості матеріалу валка сталей;

- значна довжина бочки валка, при якій тривалість обточування циліндричної бочки на прохід може значно перевищувати період стійкості різальної пластини, що ускладнює або унеможливує обробку бочки за один прохід без заміни пластини;

- великі значення потужності електродвигуна привода головного руху верстата, що зумовлюють високий рівень абсолютних витрат (втрат) енергії при заданому значенні питомих витрат (втрат);

- великі втрати електроенергії при роботі електродвигуна привода головного руху верстата на холостому ході під час заміни різальної пластини (різцевого блоку) внаслідок відмови.

Комплексне підвищення ефективності чорнової та напівчистої токарної обробки деталей важкого машинобудування може бути забезпечене при раціональному використанні сучасного твердосплавного різального інструменту з покриттям, який знаходить все ширше використання у зазначених областях обробки [8, 9]. При цьому широке впровадження твердосплавного інструменту з покриттям при чорновій та напівчистої токарній обробці деталей важкого машинобудування має базуватись на узагальненні специфічних особливостей цієї обробки, що впливають на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки.

Чорнова та напівчистова токарна обробка деталей важкого машинобудування мають свої відмінні риси. Невисокі показники стійкості твердосплавних пластин при чорновій токарній обробці на важких верстатах зумовлені результатами складної дії механічних та теплових навантажень значних величин [5, 7]. Відмови різців спричиняються зношуванням різних видів (абразивним, адгезійним, дифузійним), крихким руйнуванням різальної пластини (поламки, сколювання, викришування), пластичним деформуванням різальної кромки [5], при цьому специфічною особливістю чорнового точіння на важких верстатах є дуже значна питома частка крихкого (викришування,

сколювання, поламки) та пластичного руйнування у загальній структурі відмов інструменту, що викликана значним силовим навантаженням різальної пластини та зумовлює невисокі показники надійності різців і відтак недостатню ефективність їхнього використання на сучасному верстатному обладнанні з ЧПК. Тому набір функціональних характеристик покриття для твердосплавної різальної пластини, працюючої у таких складних умовах, має не тільки забезпечувати ефективний опір процесам зношування робочих поверхонь різальної пластини, але й стримувати розвиток явищ, що спричиняють крихке та пластичне руйнування пластини.

За результатами аналізу вищеперерахованих літературних джерел, у якості факторів, що справляють негативний вплив на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки при чорновому точінні сталевих деталей на важких верстатах, можуть бути вказані:

- температурні коливання, що спричинені нерівномірним характером припуску та зумовлюють появу у різальній пластині мікротріщин, перпендикулярних до різальної кромки, наслідком чого є викришування частинок твердого сплаву на різальній кромці та інтенсифікація зношування пластини по задній поверхні;

- пластична деформація різальної кромки внаслідок спільної дії високих температур та контактних навантажень при значних величинах подач;

- втрата міцності різальної кромки внаслідок інтенсивного лункоутворення на передній поверхні різальної пластини під впливом високих температур при різанні;

- поява борозен зносу на головній та допоміжній задніх поверхнях різальної пластини, зумовлена утворенням оксидних плівок при температурах $\Theta = 1100 \dots 1300 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- підвищення імовірності крихкого руйнування (в першу чергу – поламки) різальних пластин внаслідок дії перерахованих процесів;

- зниження показників надійності різців внаслідок підвищення питомої частки крихких руйнувань різальних пластин як раптових та неусувних відмов у загальній структурі відмов різців, що ускладнює експлуатацію різців на сучасному верстатному обладнанні з ЧПК;

- необхідність призначення режимів токарної обробки з заниженим рівнем швидкості різання з метою запобігання значним температурам на контактних поверхнях різальних пластин, що не дозволяє забезпечити бажану продуктивність обробки та служить додатковим чинником збільшення питомої частки поламки різальних пластин у структурі відмов та зростання коефіцієнта варіації стійкості різців;

- висока енергомісткість обробки, зумовлена високим силовим навантаженням у зоні різання;
- значні втрати часу на заміну різальної пластини (різцевого блоку), що зумовлені невисокою стійкістю та відносно високим відсотком раптових відмов різців і відтак спричиняють значні втрати електроенергії при роботі електродвигуна привода головного руху верстата на холостому ході.

При напівчистовій токарній обробці сталевих деталей на важких верстатах, на відміну від чорнової обробки, у структурі відмов різців однозначно домінує знос різальної пластини по задній поверхні, проте відзначена висока інтенсивність зношування пластин не дозволяє непереривну обробку циліндричних поверхонь значної протяжності без заміни різальної пластини чи різцевого блоку. Чинники негативної впливу на продуктивність та енергоефективність напівчистової токарної обробки на важких верстатах залишаються тотожними з відповідними чинниками для чорнової обробки. Окремо відзначимо, що реальні виробничі умови часто спонукають інженерів-технологів до використання у практиці токарної обробки деталей важкого машинобудування таких марок твердих сплавів, що відрізняються широкою універсальністю та можуть бути ефективно використані як для чорнової, так і для напівчистової обробки.

Авторами роботи були проаналізовані результати проведених на базі ПрАТ «НКМЗ» стійкісних випробувань різців, оснащених різальними пластинами форми SCMT 380932 (головний кут у плані $\phi = 75^\circ$) з твердих сплавів з покриттям виробництва фірм «Pramet», «Korloy», «Taegu Tec», «Canela», «Harditalia» та ін. при поздовжньому чорновому обточуванні бочок валків прокатних станів у діапазоні діаметрів бочки $\varnothing 1120 \dots 1590$ мм, стислу інформацію про які наведено у роботі [9]. Матеріали прокатних валків – леговані сталі 70X2МФ, 75ХМФ, 75Х2МФ, 50Х3ГНМФ, 70Х3ГНМФ, 75Х3ГНМФ, 100ХНМФ (твердість *HV* 220...260). Режими різання (глибина різання $t = 10 \dots 25$ мм; подача $S = 1,5 \dots 1,8$ мм/об; швидкість різання $v = 40 \dots 50$ м/хв) в цілому відповідали прийнятим на виробництві технологічним режимам чорнової токарної обробки валків прокатних станів та узгоджувались з рекомендаціями фірм-виробників твердосплавних пластин. У якості найбільшої проблеми обробки слід відзначити домінуючу питому частку крихкого руйнування у загальній структурі відмов різальних пластин для переважної більшості випробуваних марок твердих сплавів. Найкращу працездатність (різновид відмови – знос; період стійкості різальної пластини – до 45 хвилин при точінні сталей 75ХМФ та 100ХНМФ, що значно перевищує показники стійкості різальних пластин інших

випробуваних марок твердих сплавів) продемонстрував твердий сплав 6635 виробництва фірми «Pramet» з покриттям, нанесеним методом MT-CVD на функціонально градієнтному субстраті з відносно високим вмістом кобальту [11].

Міцна структура покриття, отриманого методом MT-CVD (середньотемпературне хімічне покриття), відрізняється від структур, отриманих традиційними методами, кращою адгезією до поверхні основи твердого сплаву, відсутністю включень крихкої прикордонної фази на межі «основа твердого сплаву – зносостійке покриття» та характеризується кращим опором до явищ, що спричиняють початок розвитку крихкого руйнування різальної пластини у зоні, що прилягає до різальної кромки.

Також були проаналізовані результати стійкісних випробувань збірних різців з твердосплавними різальними пластинами фірм «Sandvik Coromant», «Pramet», «Stellram», «Iscar», «Toshiba Tungaloy», «Mitsubishi» при поздовжньому напівчистовому точінні прокатних валків у діапазоні діаметрів бочки $\varnothing 521 \dots 1300$ мм (матеріали валків – леговані сталі 90XФ (*HB* 240), 65X2C3M (*HB* 240), 70X3ГНМФ (*HB* 260...300)). Випробування проводились на базі ПрАТ «НКМЗ». Різці оснащувались різальними пластинами форми CNMG 190616 різних виконань. Діапазон досліджуваних режимів різання ($t = 1,0\text{--}6,0$ мм; $S = 0,3\text{--}0,4$ мм/об; $v = 147\text{--}164$ м/хв) відповідав прийнятим на виробництві режимам напівчистої обробки прокатних валків заданого розмірного діапазону з легованих валкових сталей. В умовах домінування зносу у загальній структурі відмов різальних пластин випробування припинялись при досягненні часу роботи різця, що дорівнює 15 хвилинам (в такому випадку вимірювався знос пластини по задній поверхні, що відповідає регламентованому часу роботи випробуваного різця), або ж достроково – при досягненні критичного зносу різальної пластини, якщо він настає менш ніж за 15 хвилин роботи різця. У таблицях 2, 3 представлені деякі з систематизованих у роботі [8] даних з результатами випробувань. Марка твердого сплаву вказана наприкінці умовного позначення кожної пластини.

Напівчистова токарна обробка валків з досліджуваних сталей у діапазоні відносно високих швидкостей різання $v = 147 \dots 164$ м/хв з подачею $S = 0,3 \dots 0,4$ мм/об характеризується доволі високою інтенсивністю зношування різців, що пояснюється, зокрема, невисокими показниками оброблюваності сталей. У більшості досліджуваних марок твердих сплавів з покриттям критичний знос досягається менш ніж за 15 хвилин роботи різця (табл. 2, 3), що не можна вважати задовільним показником стійкості.

Таблиця 2 – Показники стійкості різців з твердосплавними різальними пластинами різних виробників при поздовжньому напівчистовому точінні прокатного валка $\varnothing 1254$ мм зі сталі 90ХФ (*HB 240*) (режими різання: $t = 2,0\text{--}4,0$ мм; $S = 0,4$ мм/об; $v = 150$ м/хв) (за даними [8])

Різальна пластина (фірма-виробник)	Час роботи, хв	Знос різальної пластини, мм
CNMG 190616-QM GC4005 («Sandvik Coromant»)	15	0,25
CNMG 190616-PR GC4225 («Sandvik Coromant»)	15	0,3
CNMG 190616E-M 6610 («Pramet»)	15	0,34
CNMG 190616-4T NL25 («Stellram»)	14,45	Критичний знос
CNMG 190616-TH T5020 («Toshiba Tungaloy»)	13,85	
CNMG 190616-PM GC4025 («Sandvik Coromant»)	13,63	
CNMG 190616-TH T9025 («Toshiba Tungaloy»)	7,87	
CNMG 190616E-M 6630 («Pramet»)	7,63	
CNMG 190616E-M 6630 («Pramet»)	7,63	

Таблиця 3 – Показники стійкості різців з твердосплавними різальними пластинами різних виробників при поздовжньому напівчистовому точінні прокатного валка $\varnothing 521$ мм зі сталі 65Х2С3М (*HB 240*) (за даними [8])

Різальна пластина (фірма-виробник)	Час роботи, хв	Знос різальної пластини, мм
Режими різання: $t = 1,0\text{--}6,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 164$ м/хв		
CNMG 190616-PM GC4015 («Sandvik Coromant»)	15	0,22
CNMG 190616E-M 6610 («Pramet»)	11,5	Критичний знос
CNMG 190616-4T NL25 («Stellram»)	10	
CNMG 190616-2N NL25 («Stellram»)	6,73	
Режими різання: $t = 3,0$ мм; $S = 0,4$ мм/об; $v = 147$ м/хв		
CNMG 190616-PR GC4225 («Sandvik Coromant»)	15	0,7
CNMG 190616-4T NL25 («Stellram»)	14,83	Критичний знос
CNMG 190616E-M 6630 («Pramet»)	5,78	
CNMG 190616-4T NL40 («Stellram»)	3,5	

Як свідчать дані таблиці 2, при напівчистовому точінні валка $\varnothing 1254$ мм зі сталі 90ХФ найкращі показники працездатності має різальна пластина CNMG 190616-QM GC4005 виробництва фірми «Sandvik Coromant», знос якої за підсумками 15 хвилин роботи різця склав 0,25 мм. Дещо інтенсивніше зношувались різальна пластина CNMG 190616-PR GC4225 того ж виробника (знос за підсумками 15 хвилин роботи різця – 0,3 мм) та пластина CNMG 190616E-M 6610 виробництва фірми «Pramet»

(величина зносу за підсумками 15 хвилин роботи різця – 0,34 мм). Стійкісні характеристики цих різальних пластин порівняно з іншими випробуваними марками твердих сплавів можуть бути визнані найкращими для досліджуваних умов обробки.

Згідно з даними таблиці 3, при напівчистовому точінні валка $\varnothing 521$ мм зі сталі 65X2C3M найкращі показники працездатності порівняно з іншими різальними пластинами продемонстрували:

– при точінні з режимами різання: $t = 1,0\text{--}6,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 164$ м/хв – різальна пластина CNMG 190616-PM GC4015 (знос за підсумками 15 хвилин роботи різця – 0,22 мм);

– при точінні з режимами різання: $t = 3,0$ мм; $S = 0,4$ мм/об; $v = 147$ м/хв – різальна пластина CNMG 190616-PR GC4225 (знос за підсумками 15 хвилин роботи різця – 0,7 мм).

Інші досліджувані при точінні сталі 65X2C3M різальні пластини досягли критичного зносу менш ніж за 15 хвилин роботи різця; їхні стійкісні характеристики не можуть бути визнані задовільними.

Результати випробувань показали перевагу твердих сплавів GC різних марок фірми «Sandvik Coromant» та твердого сплаву марки 6610 фірми «Pramet» перед твердими сплавами інших виробників («Stellram», «Toshiba Tungaloy», «Iscar», «Mitsubishi» тощо) у досліджуваних умовах напівчистої токарної обробки легованих валкових сталей. Це пояснюється кращими характеристиками зносостійкого покриття та в цілому композиції «основа твердого сплаву – покриття», що визначають характеристики зносостійкості для відповідних твердих сплавів. Порівняння величини зносу h_z по задній поверхні різальних пластин з твердих сплавів марок 6610 фірми «Pramet», GC4225 та GC4005 фірми «Sandvik Coromant» за підсумками 15 хвилин роботи різця при напівчистовому точінні валка $\varnothing 1254$ зі сталі 90XФ ($HB 240$) на досліджуваних режимах різання представлено на рисунку 1. На рисунку 2 наведені показники часу роботи різальних пластин з твердих сплавів GC4225 («Sandvik Coromant») (до $h_z = 0,7$ мм), NL25 («Stellram»), 6610 («Pramet»), NL40 («Stellram») (до критичного зносу) при напівчистовому точінні валка $\varnothing 521$ мм зі сталі 65X2C3M (режими різання: $t = 3,0$ мм, $S = 0,3$ мм/об, $v = 164$ м/хв), що свідчать про кращу зносостійкість твердого сплаву GC4225.

Задачі стримування дії процесів, що справляють свій негативний вплив на працездатність твердосплавного інструменту, продуктивність та енергоефективність чорнової та напівчистої токарної обробки сталевих деталей на важких верстатах, найкраще відповідають багатшарові покриття загальною товщиною від 10 мкм, нанесені на

міцну (бажано – градієнтну) основу твердого сплаву за допомогою CVD-(MT-CVD-) технологій.

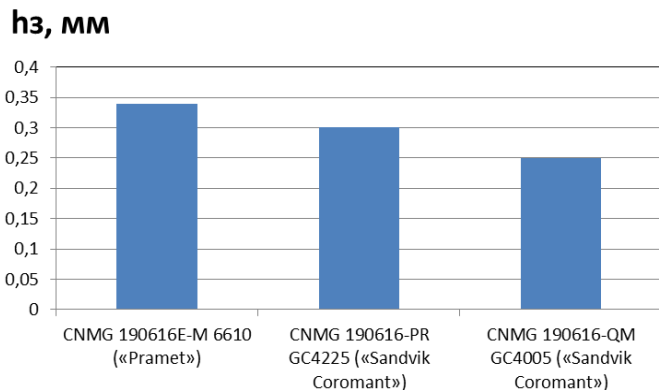


Рисунок 1 – Показники величини зносу h_z по задній поверхні різальних пластин з твердих сплавів 6610 («Pramet»), GC4225 та GC4005 («Sandvik Coromant») при напівчистовому точінні валка \varnothing 1254 мм зі сталі 90ХФ (HB 240) (режими різання: $t = 2,0-4,0$ мм; $S = 0,4$ мм/об; $v = 150$ м/хв; час роботи – 15 хв)

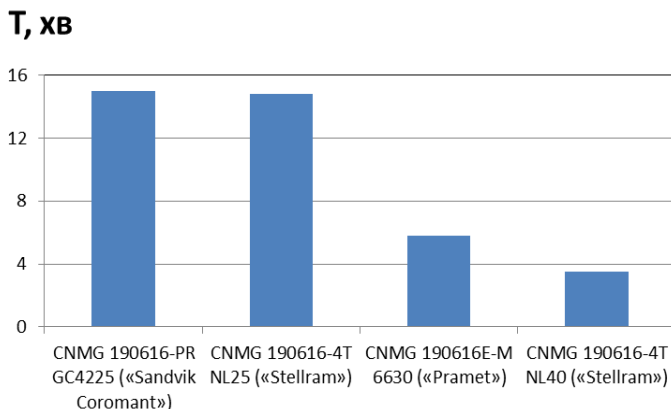


Рисунок 2 – Час роботи різальних пластин з твердих сплавів GC4225 («Sandvik Coromant») (до зносу по задній поверхні $h_z = 0,7$ мм), NL25 («Stellram»), 6610 («Pramet»), NL40 («Stellram») (до критичного зносу), при напівчистовому точінні валка \varnothing 521 мм зі сталі 65X2C3M (режими різання: $t = 3,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 164$ м/хв)

Матеріали шарів покриття повинні мати сприятливе співвідношення характеристик твердості та пластичності і низьку дефектність. Такі покриття, крім загальної високої зносостійкості тврдосплавної пластини, забезпечують її підвищений опір мікро- та макроруйнуванню в умовах адгезійно-втомлюванісних процесів та термопластичного навантаження [7], що забезпечує максимально можливу універсальність пластин та їхнє ефективне використання на різних операціях чорнової та напівчистої токарної обробки. Таким вимогам, відповідає, зокрема, гама твердих сплавів GC груп використання P05–P25 за стандартом ISO 513 виробництва фірми «Sandvik Coromant» та тверді сплави марок 6610 та 6635 фірми «Pramet», що продемонстрували задовільні результати при чорновому та напівчистовому точінні валків прокатних станів на важких верстатах [5–9]. Характеристики цих твердих сплавів узагальнені у таблиці 4.

Міцна основа наведених у таблиці 4 твердих сплавів забезпечує здатність різальної пластини до опору крихкому руйнуванню під дією значних силових навантажень на пластину. Значна товщина покриття слугує фактором зниження термомеханічної напруженості у контактних зонах твердого сплаву, дозволяючи знизити інтенсивність процесів зношування робочих поверхонь, пластичної деформації різальної пластини, а за рахунок затухання температурних коливань – ще й зменшити імовірність викришувань на різальній кромці [7]. Перераховані фактори знижують імовірність поламок різальної пластини, змінюючи структуру відмов різців при чорновій та напівчистовій обробці сталевих деталей важкого машинобудування у бік зменшення питомої частки руйнування та збільшення питомої частки зносу, що позитивно впливає на показники надійності інструменту при роботі на автоматизованому верстатному обладнанні з ЧПК.

Висновки.

У статті на основі результатів виробничих досліджень були узагальнені специфічні особливості чорнової та напівчистої токарної обробки сталевих деталей важкого машинобудування різцями з тврдосплавними різальними пластинами з покриттям, що впливають на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки. Обґрунтовано вибір марок твердих сплавів з покриттям, найбільш перспективних для використання при чорновій та напівчистовій токарній обробці валків прокатних станів з великим діаметром бочки на важких верстатах.

Таблиця 4 – Марки твердих сплавів з покриттям, рекомендовані для чорнової та напівчистої токарної обробки сталевих деталей на важких верстатах (за даними [5, 11, 12])

Марка твердого сплаву, (рекомендована група використання)	Загальна характеристика твердого сплаву з покриттям
Тверді сплави виробництва фірми «Sandvik Coromant»	
GC4005 (P05)	Покриття TiCN–Al ₂ O ₃ –TiN загальною товщиною 18 мкм на твердій основі з тонким градієнтним шаром на периферії; підвищені міцність, здатність до опору лункоутворенню на передній поверхні та пластичній деформації різальної пластини
GC4015 (P15)	Покриття TiCN–Al ₂ O ₃ –TiN загальною товщиною 14 мкм на твердій основі з градієнтною зоною; підвищений опір дії високих температур без ушкодження різальних кромки
GC4025 (P25)	Покриття TiCN–Al ₂ O ₃ –TiN загальною товщиною 12 мкм на твердій основі з підвищеним вмістом зв'язки: товстий шар Al ₂ O ₃ нанесений на шар TiCN середньої товщини; тонкий верхній шар TiN; підвищена міцність різальної кромки; можливість використання як для безперервного точіння, так і для обробки з ударом при зйомі великих об'ємів металу
GC4035 (P35)	Покриття TiCN–Al ₂ O ₃ –TiN на високоміцній основі з градієнтною зоною; висока міцність та стійкість до пластичної деформації; висока працездатність при високопродуктивній обробці сталей у важких умовах (переривчасте різання, великі питомі зйоми)
GC4225 (P25)	Покриття значної товщини на міцній градієнтній основі; висока працездатність покриття в умовах як переривчастого, так і неперервного точіння сталі
Тверді сплави виробництва фірми «Pramet»	
6610 (P10–P25)	Товсте покриття з несвітним шаром Al ₂ O ₃ , нанесеним MT-CVD-методом; функціонально градієнтний субстрат з відносно низьким вмістом кобальту; можливість ефективного використання при відносно високих швидкостях різання
6635 (P20–P40)	Тонке покриття, нанесене MT-CVD-методом на функціонально градієнтному субстраті з відносно високим вмістом кобальту; можливість використання при обробці з середніми та великими перетинами стружки, на низьких та середніх швидкостях різання, в тому числі у несприятливих умовах врізання та при переривчастому різанні

Перелік використаних джерел: 1. *Верещака, А. С.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / *А. С. Верещака.* – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с. – ISBN 5-217-01482-2. 2. *Мацевитый, В. М.* Покрyтия для режyщих инструмeнтов / *В. М. Мацевитый.* – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 128 с. 3. *Костюк, Г. И.* Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: справочник / *Г. И. Костюк.* – К.: Антикава, 2003. – 412 с. – ISBN 966-8105-21-4. 4. *Табаков, В. П.* Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / *В. П. Табаков.* – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с. 5. *Соловьев, В. В.* Применение пластин с покрытиями при черновом точении на тяжелых токарных станках / *В. В. Соловьев, Е. В. Мироненко, В. С. Гузенко* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – № 3. – 2010. – С. 54–59.

6. Мironenko, E. V. Оптимизация режимов резания при обработке на тяжелых токарных станках с учетом энергозатрат / E. V. Мironenko, B. C. Гузенко, Л. В. Васильева, О. Е. Мironenko // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 40. – С. 62–70. 7. Мironenko, E. V. Зносостійкі покриття для чорнової та напівчистої токарної обробки деталей / E. V. Мironenko, B. C. Гузенко, B. В. Калініченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. № 39, 2016. – С. 141–146. 8. Мironenko, E. V. Аналіз можливостей використання різців з твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями при напівчистої обробці валків прокатних станів / E. V. Мironenko, B. В. Калініченко, Д. Є. Гузенко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 12 / редкол.: В. О. Федорович (голова) та ін. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 116–125. 9. Мironenko, E. V. Перспективи використання різців з твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями при чорновій токарній обробці валків прокатних станів з великими діаметрами бочки валка / E. V. Мironenko, B. В. Калініченко, Д. Є. Гузенко // Матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ-2019» 4–8 лютого 2019 р. – Івано-Франківськ – Яремче, 2019. – С. 171–173. 10. Васильченко, Я. В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков / Я. В. Васильченко, Т. А. Сукова, М. В. Шаповалов // Вісник СевНТУ. Зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь: СевНТУ. – 2013. – Вип. 139. – С. 28–32. 11. Pramet. Токарная обработка. Каталог – 2009. – 321 с. 12. Руководство Sandvik Coromant по обработке металлов резанием. – 2005. – 564 с.

E. Mironenko, V. Kalinichenko, V. Khoroshailo,
D. Guzenko, Kramatorsk, Ukraine

SPECIFICS OF USE OF COATED HARD-ALLOY CUTTING PLATES IN ROUGHING AND SEMIFINISH TURNING OF HEAVY MACHINERY PARTS

Abstract. *In this article on the basis of research results specific features of roughing and semifinish turning of heavy machinery parts by cutting tools with coated hard-alloy cutting plates are generalized. The factors that have a negative impact on the durability of cutting tools, processing performance and energy efficiency of processing at the roughing and semifinish turning of steel parts on heavy lathes are listed. The results of production tests of cutting tools with coated hard-alloy cutting plates of the world's leading manufacturers at the roughing and semifinish turning of steel mill rolls with large roll barrel diameters are analyzed. On the basis of production tests results of cutting tools with cutting plates SCMT 380932 in coated hard alloys manufactured by Pramet, Korlov, Taegu Tec, Canela, Harditalia and other manufacturers at the longitudinal roughing of mill roll barrels in diameter range from 1120 mm to 1590 mm the best performance characteristics were demonstrated by cutting tools with cutting plates of hard alloy 6635 with MT-CVD coating manufactured by Pramet. On the basis of production tests results of cutting tools with cutting plates CNMG 190616 in coated hard alloys of different grades manufactured by Sandvik Coromant, Pramet, Stellram, Iscar, Toshiba Tungalov, Mitsubishi at the longitudinal semifinish turning of mill rolls of alloy steels in diameter range of barrel from 521 mm to 1300 mm the best performance characteristics were demonstrated by cutting tools with cutting plates of hard alloys GC4005, GC4015, GC4225 manufactured by Sandvik Coromant and hard alloy 6610 manufactured by Pramet. The choice of grades of hard alloys with coating which are most prospected for use in roughing and semifinish turning of steel parts on heavy lathes is ground. As recommended grades of hard alloys from researched area of turning of heavy machinery parts are offered hard alloys GC4005, GC4015, GC4025, GC4035, GC4225 manufactured by Sandvik Coromant and hard alloys 6610, 6635 manufactured by Pramet; the characteristics of these hard alloys, which determine the effectiveness of their use in the researched area of turning are presented.*

Keywords: *heavy machinery parts, roughing, semifinish turning, hard alloy cutting plate, coating, wear, breakage, spalling, functional performance, processing performance, energy efficiency.*