

Інструментальні сталі та сплави на основі важкоплавких металів

Сталі, призначені для виготовлення інструменту (свердла, мітчики, різці, фрези та ін.) відносяться до інструментальних. Вони повинні бути твердими ($HRC > 60$), міцними, зносостійкими, теплостійкими, чинити опір змінам температур. Для цього сталі повинні мати високий вміст вуглецю, для багатьох інструментів містити велику кількість легувальних елементів.

За головним показником – теплостійкості – інструментальні сталі поділяються на групи: вуглецеві і низьколеговані (до 200 °C), високолеговані швидкорізальні (до 600 ... 640 °C), тверді сплави (до 800...1000 °C), надтверді сплави (до 1200 °C).

Вуглецеві сталі. Вуглецеві сталі випускаються відповідно до ГОСТу 1435-90 якісними У8, У9 – У13 і високоякісними У8А, У9А – У13А. Літера У в маркуванні вказує, що сталь вуглецева, а число вказує на середній вміст вуглецю в десятих частках відсотку. Вони поставляються для виготовлення інструменту після відпалу на структуру зернистого перліту з твердістю до 220 НВ. У такому стані вони добре деформуються, обробляються різанням, що дозволяє застосовувати накатку, насічки та інші операції. Всі сталі цієї групи мають низьку прожарюваність (табл. 1).

Таблиця 1 –

Температура відпуску вуглецевих сталей при виготовленні інструменту

Види інструменту	Сталь	Температура відпуску, °C	Твердість робочої частини, HRC
Мітчики	У10 – У12	180...200	60...62
Розгортки	У10 – У12	160...180	62...64
Зубила	У7	280...300	56...58
Матриці для холодного штампування	У8 – У10	200...220	60...62
Плашки	У10	59...61	59...61

Прожарюваність оцінюється глибиною проникнення мартенситу гартування при термічному обробленні в мм, та характеризується п'ятибальною шкалою (рис. 1).



Рис. 1. Прожарюваність вуглецевої сталі У12.

Для виготовлення інструментів, що піддаються в процесі експлуатації ударним навантаженням (молотки, зубила, сокири) рекомендують використовувати сталь У7, У8, якщо ж навантаження прикладається плавно (напилки) – зі сталі У13.

Низьколеговані інструментальні сталі. Низьколеговані інструментальні сталі містять до 5 % легувальних елементів, які вводяться в сталі для підвищення прожарюваності, зменшення деформацій, розтріскування при термічному обробленні. Цьому сприяє хром, кремній, марганець, вольфрам (табл. 2).

Таблиця 2 –

Властивості низьколегованих інструментальних сталей

Марка сталі	Відпал		Гартування			Відпуск	
	Т, °С	Твердість, НВ	Т, °С	Середовище охолодження	Твердість, HRC (не менше)	Т, °С	Твердість, HRC
Х	770...790	225...207	830...860	Масло	62	150...200	64...61
9ХС	790...810	255...207	820...860	Масло	62	140...160 160...180	65...62 63...61
ХГСВФ	790...810	228...196	820...850 840...860	Масло	– 62	140...160 160...180	63...61 61...59
ХГ	780...800	241...197	800...830	Масло	61	150...200	64...61
ХВГ	770...790	255...207	800...830	Масло	62	140...160 170...200	65...61 62...60
В1	780...800	229...187	800...850	Вода	62	150...200	64...62
ХВ5	730...750	331...255	800...820	Вода	65	100...120	66...64

В табл. 2 наведені деякі марки легованих інструментальних сталей, режими термічного оброблення, властивості готового інструменту.

Легувальні елементи, такі як вольфрам, в сталі ХВ5 збільшують твердість і зносостійкість, хром в сталі 9ХС сприяє підвищенню прожарюваності, кремній покращує відділення окалини. Сталі цієї групи відносяться до заевтектоїдних, тому температура гартування 730 ... 790 °С, в маслі.

Складнолеговані сталі типу ХГСВФ застосовують для виробів складної конфігурації (свердла, протягання) перерізом до 100 мм. Висока твердість сталей, які містять вольфрам пояснюється утворенням карбідів, легованого цементиту.

Швидкорізальні сталі. До швидкорізальних сталей відносяться високолеговані сталі, призначені для інструментів високої продуктивності.

Основна властивість цих сталей висока теплостійкість, яка забезпечується введенням великої кількості вольфраму сумісно з іншими карбідоутворюючими елементами – молібденом, хромом, ванадієм. Вольфрам та молібден у присутності хрому пов'язують вуглець в спеціальний важко коагульований при відпуску карбід типу Me_6C та затримують розпад мартенситу. Виділення дисперсних карбідів, яке відбувається при підвищених температурах відпуску (500 – 600 °С), викликає дисперсне твердіння мартенситу – явище вторинної твердості. Особливо ефективно вторинна твердість та теплостійкість підвищуються при введенні декількох сильних карбідоутворювачів, наприклад вольфраму (одного або разом з молібденом) та ванадію. При відпуску ванадій, виділяючись у вигляді карбідів, посилює дисперсне твердіння, а вольфрам (молібден), зберігаючись в мартенситі, затримує його розпад.

Збільшенню теплостійкості сприяє також кобальт. Він не утворює карбідів, але, підвищуючи енергію міжатомних сил зв'язку, ускладнює коагуляцію карбідів і збільшує їх дисперсність.

В результаті комплексного легування інструменти з швидкоріжучих сталей зберігають високу твердість до 560 – 640 °С та допускають у 2 – 4 рази більш продуктивні режими різання, ніж інструменти з вуглецевих та низьколегованих сталей.

Маркуються швидкорізальні сталі літерою Р, після якої стоїть число, що вказує на вміст (в процентах) вольфраму – головного легувального елементу (табл. 3).

Таблиця 3 –

Склад швидкорізальних сталей і кількість карбідів

Марка сталі	Кількість карбідів, %	Склад	Карбід	C, %	W, %
P18	29	M_6C	M_6C	2	65
P12	24	$M_6C + MC$			
P9	18	$M_6C + MC$	MC	12	42
P6M3	19	$M_6C + MC$			
P6M5	21	$M_6C + MC$	$M_{23}C_6$	5	10

Структура швидкорізальних сталей Р9, Р18 визначається діаграмою стану Fe-W-C (рис. 2).

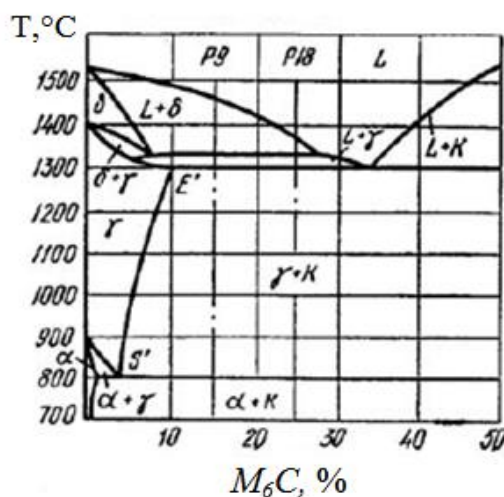


Рис. 2. Діаграма стану вольфрамистих сталей: α , γ – легований ферит і аустеніт; k – легований карбід.

Сталі на першому етапі отримують литтям (рис. 3, а). У структурі видно скелетоподібну ледебуритну евтектику, а також перитектичні великі кристали.

Наступна відповідальна операція – кування (рис. 3, б). В результаті кування карбідна фаза подрібнюється: у структурі сталі спостерігаються великі первинні

кристали карбідної фази і дрібні кристали подрібненої евтектики. Загальна кількість карбідів в сталі P18 ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$) $\approx 28\%$.

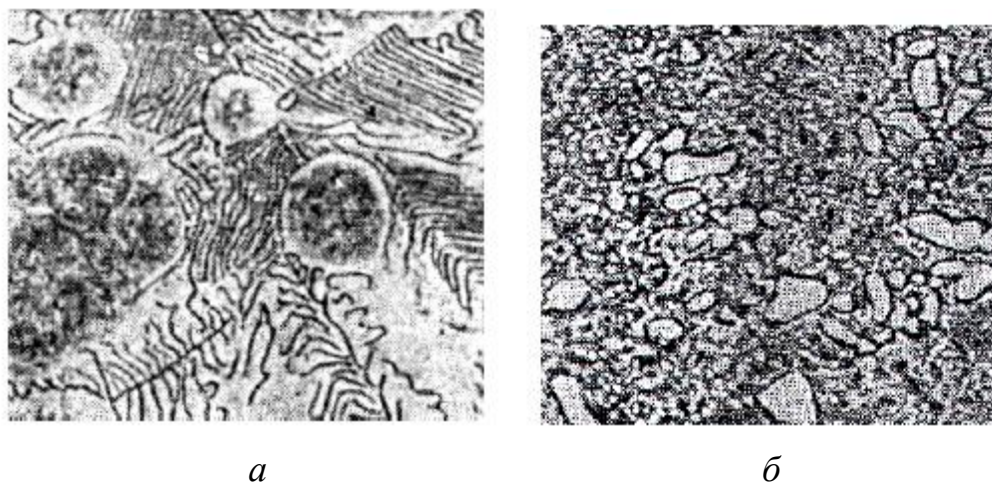


Рис. 3. Структура литої (*a*) швидкорізальної сталі P18 та після відпалу (*б*).

Висока твердість і теплостійкість формуються в результаті триразового відпуску (рис. 4).

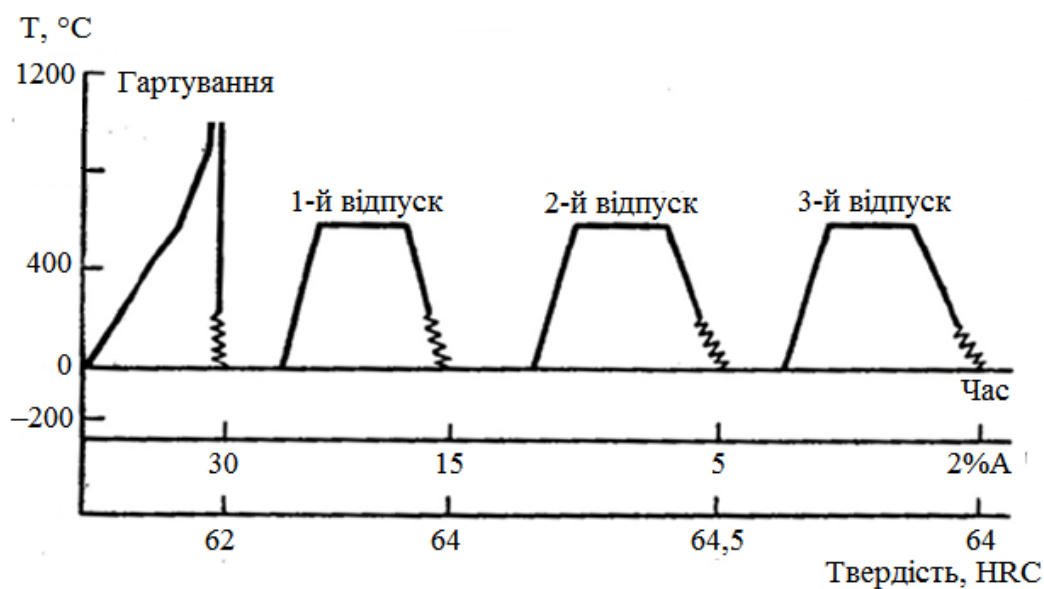


Рис. 4. Режим термічного оброблення швидкорізальної сталі.

В результаті відпуску кількість залишкового аустеніту знижується. Після гартування його 30 %, після першого відпуску – 15 %, після третього – 2 %.

Для сталей характерна висока температура нагрівання під гартування $\approx 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це призводить до значного розчинення карбідної фази в аустеніті, сприяє підвищенню вмісту вольфраму і вуглецю в ньому. Через низьку теплопровідність сталі її нагрівають під гартування повільно, застосовуючи соляні ванни.

Порошкові тверді сплави. До порошкових твердих сплавів відносяться сплави, що складаються з високотвердих і важкоплавких карбідів вольфраму, титану, танталу, з'єднаних металевою зв'язкою. Виготовляють їх порошковою технологією. Порошки карбідів змішують з порошком кобальту, що виконує роль зв'язки, пресують та спікають при $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. При спіканні кобальт розчиняє частину карбідів і плавиться. В результаті отримують щільний матеріал, структура якого складається на 82 – 95 % з карбідних часток, що з'єднані зв'язкою (рис. 5). Збільшення вмісту зв'язки викликає зниження твердості, але підвищення міцності та в'язкості.

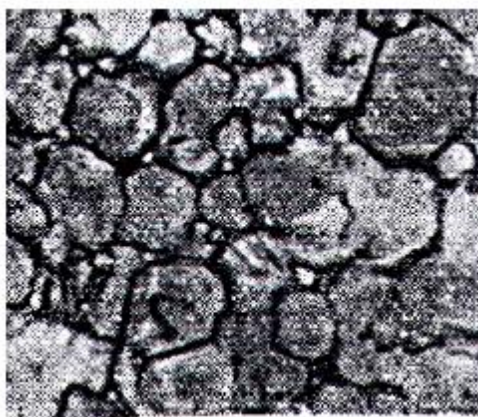


Рис. 5. Структура сплаву Т30К4.

Тверді сплави виготовляють у вигляді пластин і оснащують ними різці, свердла, фрези та ін. Такі інструменти поєднують високу твердість 85 – 92 HRA (74 – 76 HRC) та зносостійкість з високою теплостійкістю ($800 - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$). За своїми експлуатаційними властивостями вони перевершують інструменти з швидкорізальних сталей та застосовуються для різання з високими швидкостями.

Тверді сплави характеризуються також високим модулем пружності (до $6,8 \cdot 10^5$ МПа) та межею міцності на стискування (до 6000 МПа), їх недоліки – складність виготовлення фасонних виробів та висока крихкість.

Випускають сплави трьох груп (табл. 4).

Таблиця 4 –

Властивості деяких твердих сплавів (гарантовані)

Група сплаву	Марка сплаву	Склад, %			Опір вигину, мм ²	Густина, г/см ³	Твердість, HRA
		WC	TiC	Co			
ВК	BK2	98	–	2	1000	15,0...15,4	90
	BK3	97	–	3	1000	14,9...15,3	89
	BK6	94	–	6	1200	14,6...15,0	88
	BK8	92	–	8	1300	14,4...14,8	87,5
ВТК	T5K10	85	5	10	1150	12,3...13,2	88,5
	T14K8	78	14	8	1150	11,2...12,0	89,5
	T15K6	79	15	6	1100	11,0...11,7	90
ТК	T30K6	66	30	4	900	9,5...9,8	92
	T60K6	36	60	6	750	6,5...7,0	90

1. Сплави на основі карбідів вольфраму типу BK6, BK8, BK25. Їх маркують літерами ВК та числом, що вказує на вміст кобальту в процентах. Карбідна фаза сплавів цієї групи складається з зерен WC. Сплави вольфрамової групи теплостійкі до 800 °С.

Сплави BK3 – BK8 застосовують для ріжучих інструментів при обробленні матеріалів (чавун, кольорові метали, кераміка та ін.). Сплави BK10 та BK15, мають через підвищений вміст кобальту більш високу в'язкість, тому їх використовують для волочильних та бурових інструментів, стійкість яких у десятки раз перевищує стійкість сталених інструментів. Сплави з високим вмістом кобальту (BK20 та BK25) застосовують для виготовлення штампових інструментів, а також у якості конструкційного матеріалу для деталей машин та

приладів, від яких потребується високий опір пластичній деформації або зношуванню.

2. Другу групу – титанвольфрамову – утворюють сплави системи TiC-WC-Co. Їх маркують: літерою T та K, а також числами, що вказують на процентний вміст карбіду титану та кобальту. Наприклад, T30K4 містить: 30 % карбіду титану, 4 % – кобальту та 66 % – карбідів вольфраму.

При температурі спікання карбід титану розчиняє до 70 % WC та утворює твердий розчин (Ti, W) C, що має більш високу твердість ніж WC. Структура карбідної основи залежить від співвідношення карбідів у шихті.

Сплави другої групи характеризуються більш високою, ніж у сплавах першої групи, теплостійкістю (900 – 1000 °C), яка підвищується за мірою збільшення кількості TiC. Їх найбільш широко застосовують для високошвидкісного різання сталей.

3. Третю групу представляють титанвольфрамтанталові сплави системи TiC-TaC-WC-Co, наприклад, TT7K12 (TT – сумарна кількість карбідів танталу і титану, %; K – кількість кобальту, %). Структура карбідної основи являє собою твердий розчин (Ti, Ta, W) C та надлишкові кристали WC. Від сплавів попередньої групи ці сплави відрізняються більшою міцністю та кращою опірністю вібраціям та викрашуванню. Їх застосовують при найбільш тяжких умовах різання.