

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 669.187.56

**Бережний С. П., Фетісов Р. Ю., Куликовський Р. А., Капустян О. Є.,
Кононенко А. В.****ВИКОРИСТАННЯ СТРУЖКИ P18 ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ
ІНСТРУМЕНТУ**

Відомо, що при виготовленні інструменту з прокату більше 30 % сталі втрачається у виді стружки при механічній обробці [1]. Утилізація відпрацьованого інструмента та кускових відходів традиційно здійснюється методом електрошлакового переплаву (ЕШП) з використанням витратного електроду [2], або дрібнокускові відходи попередньо переплавляють у електрод методом індукційного плавлення. Слід відмітити, що переплав стружки в індукційних печах потребує використання технології з наведенням «болота» та не забезпечує рафінування її від залишків мастильно-охолоджуючих рідин (МОР).

Пресування стружки у витратний електрод ускладнене через її високу твердість та низьку пластичність. Перед пресуванням необхідно проводити її відпал при температурі 750 ± 10 °С. При цьому більша частина стружки окислюється, що призводить до втрат металу. Метод електротермічного компактування стружки високої твердості, розроблений ІЄЗ ім. Є. О. Патона передбачає її нагрів у процесі пресування у замкненому об'єму матриці до температури 0,5...0,8 від температури плавлення, а окремих ділянок навіть до температури плавлення [3]. За таких умов пресування сприяє насиченню матеріалу воднем із залишків МОР. Подальше видалення водню при наступних переплавах в повному обсязі неможливо.

При переробці відходів прецизійних сплавів типу 29НК, 50Н у вигляді стрічки товщиною 0,3...3,0 мм, матеріали перед переплавом зачищають абразивною щіткою та знежирюють ацетоном з подальшим просушуванням в печі при температурі 300 °С. Витратні електроди для ЕШП виготовлялися методом аргоно-дугового зварювання [4]. Однак, такий метод підготовки непридатний при переробці стружки. Попереднє знежирення стружки розчинниками суттєво ускладнює процес її переробки і збільшує собівартість переділу.

Перековування прокату P18 в заготовки інструменту викликає суттєві труднощі через високу температуру і вузький температурний інтервал кування. В результаті порушення технології кування виникають поверхневі й внутрішні макро- та мікротріщини в металі (рис. 1).

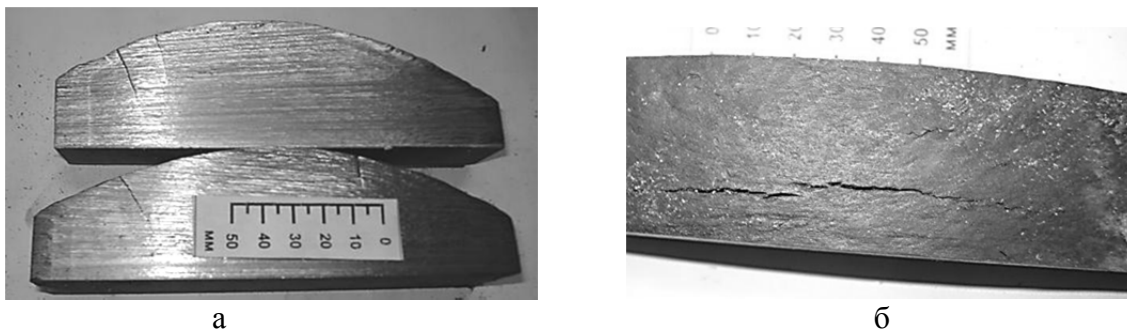


Рис. 1. Дефекти кування заготовок сталі P18:

а – поверхнева тріщина в поковці заготовки сегмента; б – внутрішня тріщина

Кування литого металу злитків електрошлакової виплавки діаметром 200 мм ускладнюється через наявність карбідної сітки вдовж границь зерен (рис. 2), та наявністю крупних карбідів (10...25 мкм). Для їх подрібнення потребується багаторазове перековування та довгостроковий відпал. Мікротріщини, що виникають в процесі кування, не завжди вдається виявити при візуальному огляді та надалі вони призводять до виникнення тріщини при гартуванні заготовок (рис. 3) і викришування крайок інструменту в процесі роботи.

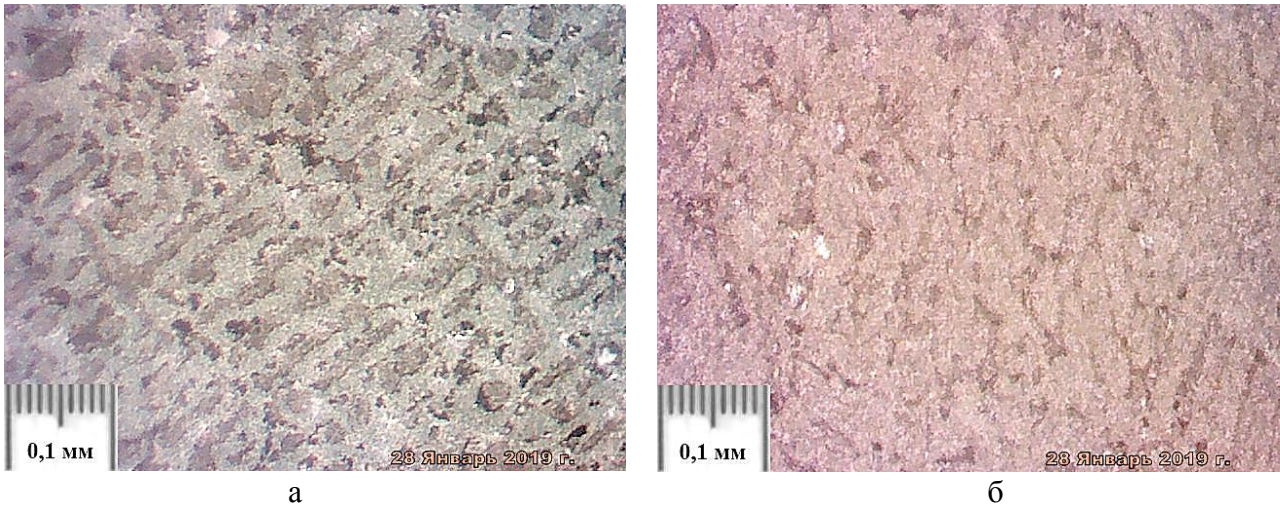


Рис. 2. Мікроструктура кованого металу:
а – край поковки; б – центральна частина поковки

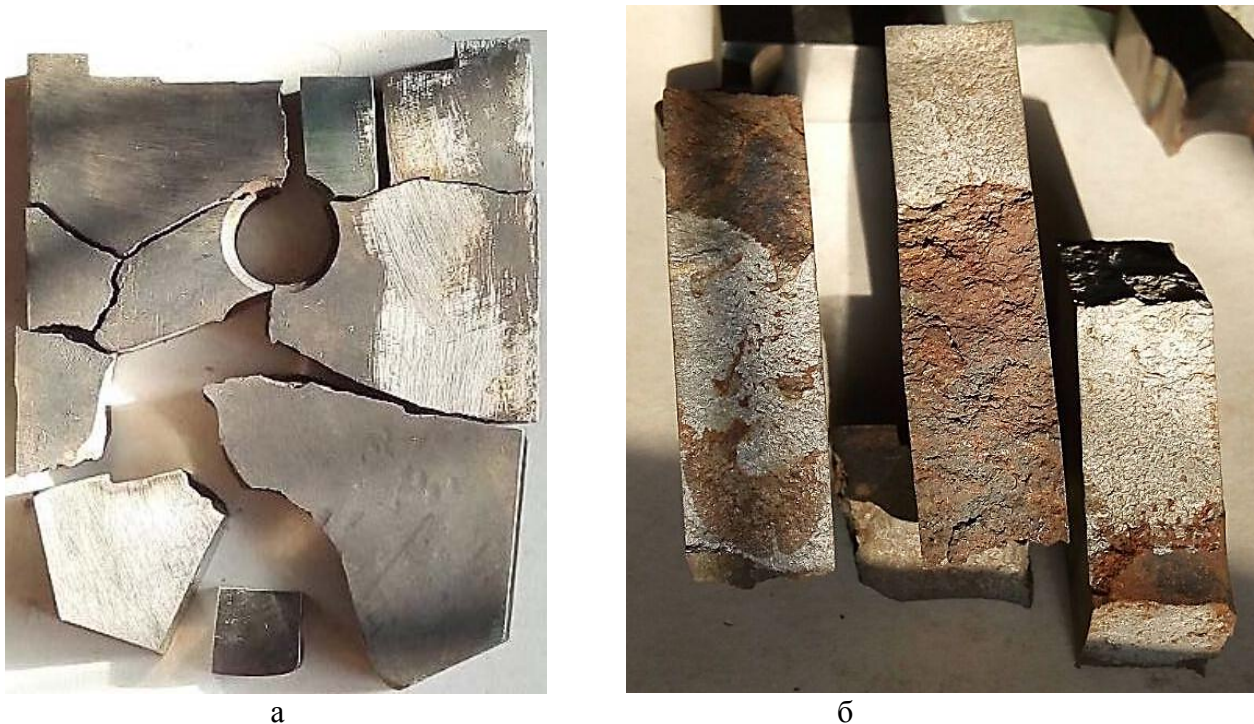


Рис. 3. Тріщини гартування свердла для отворів $\varnothing 95$ мм:
а – розтріскування при гартуванні; б – поверхня тріщини після гартування

Відомо, що збільшення швидкості кристалізації розплаву інструментальних сталей дозволяє гальмувати ріст карбідних фаз та зменшити прояви дендритної ліквіації у структурі металу. Технологія струменевого формування [5] є перспективним способом отримання заготовок швидкорізальної сталі великої щільності (96 ... 98 %). За рахунок високої швидкості

охлаждения капель, які формують зливку струменевого формування ($10^4 \dots 10^5$ °C/c), не встигають утворюватись карбідні евтектики, відсутня карбідна неоднорідність і відповідно підвищуються фізико-механічні властивості [3]. Але переробка некомпактної забрудненої МОР стружки цим методом неможлива.

Стружку можливо переплавляти електрошлаковим методом з використанням невитратного електроду [6]. У процесі плавки в переплавленому металі значно знижується вміст шкідливих домішок, газів і неметалевих вкраплень [7].

Технології електрошлакового кокільного лиття (ЕШКЛ) дозволяють одержувати зливки форми, яка близька за конфігурацією до виробу, і відмовитись від операції кування. Все це дає можливість отримати методом ЕШКЛ метал високої якості. Однак, при проведенні аналізу матеріалів не було знайдено даних про вплив залишків МОР при ЕШКЛ на склад, структуру та механічні властивості металу зливка.

Метою роботи була розробка технологічного процесу ЕШКЛ заготовок інструменту з відходів стружки Р18, неочищеної від залишків МОР. Дослідження складу і структури металу заготовки різального інструменту, отриманого методом ЕШКЛ, та режимів термічної обробки.

Дослідження проводились при виготовленні свердла перового за ГОСТ 25526-82 (рис. 4), яке являє собою плоскі пластини з шліфованими поверхнями товщиною 10...14 мм в залежності від типорозміру, для отворів діаметру від 60 мм до 130 мм. Умови експлуатації цих пластин досить складні. Має місце розігрів, нерівномірність навантаження по поверхні ріжучої крайки, вібрація, удари. Такі умови експлуатації та розміри інструменту виключають можливість застосування інструменту з твердосплавними вставками типу ВК, через вірогідність появи тріщин. Всі ці фактори вимагають високої якості матеріалу для виготовлення інструменту та обумовлюють використання сталі Р18 з твердістю HRC 60...63.

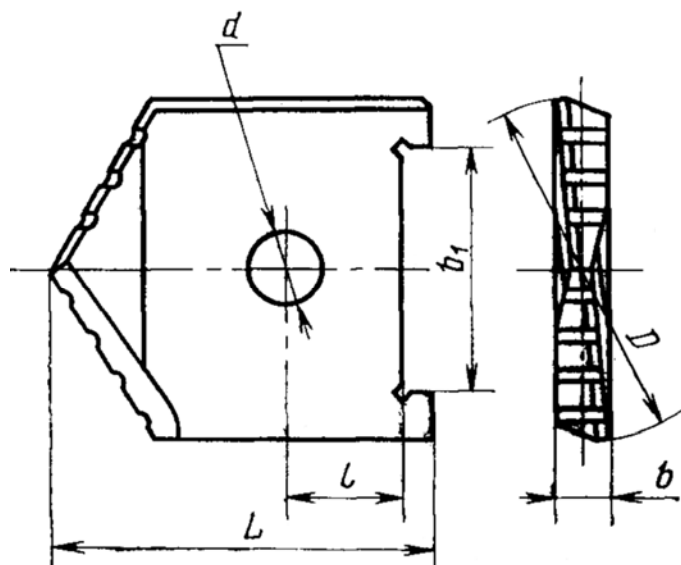


Рис. 4. Пластина свердла перового

ЕШКЛ проводили на установці А – 550 з трансформатором ТШС 3000-1. Тигель розраховано на отримання злиwkів вагою до 30 кг (рис. 5). Розмір дзеркала шлакової ванни 160 мм × 160 мм, при висоті шлакової ванни 40 мм. Для отримання зливка заготовки деталей вагою до 30 кг, розроблено кокіль (рис. 6). Кокіль складається із сталевих плит товщиною 30 мм, які повторюють геометрію робочої частини інструменту з припуском на механічну обробку і гарнісаж. Розмір $A = 135$ мм або 95 мм відповідає ширині змінних пластин. Конструкція кокілю дозволяє отримувати заготовку свердла з $D_1 = 80 \dots 90$ мм або $D_1 = 120 \dots 130$ мм (рис. 6, г).

Переплав стружки P18, після токарної та фрезерної обробки з залишками МОР, здійснювали з використанням невитратного графітового електроду $\varnothing 70$ мм у тиглі футерованим магнезитовою цеглою з подовим електродом із застосуванням флюсу АН – 295 (CaF_2 – 14 %; Al_2O_3 – 53 %; CaO – 28 %; MgO – 5 %). У цьому флюсі низький вміст CaF_2 , що позитивно позначиться на стійкості основної футеровки тигля. Також цей флюс цілком відповідає технологічним вимогам – зниження вмісту шкідливих домішок із залишків МОР, і особливо сірки, завдяки великому вмісту оксиду кальцію. Розкислення шлакової ванни виконували феросиліцієм.



Рис. 5. Тигель з графітовим електродом

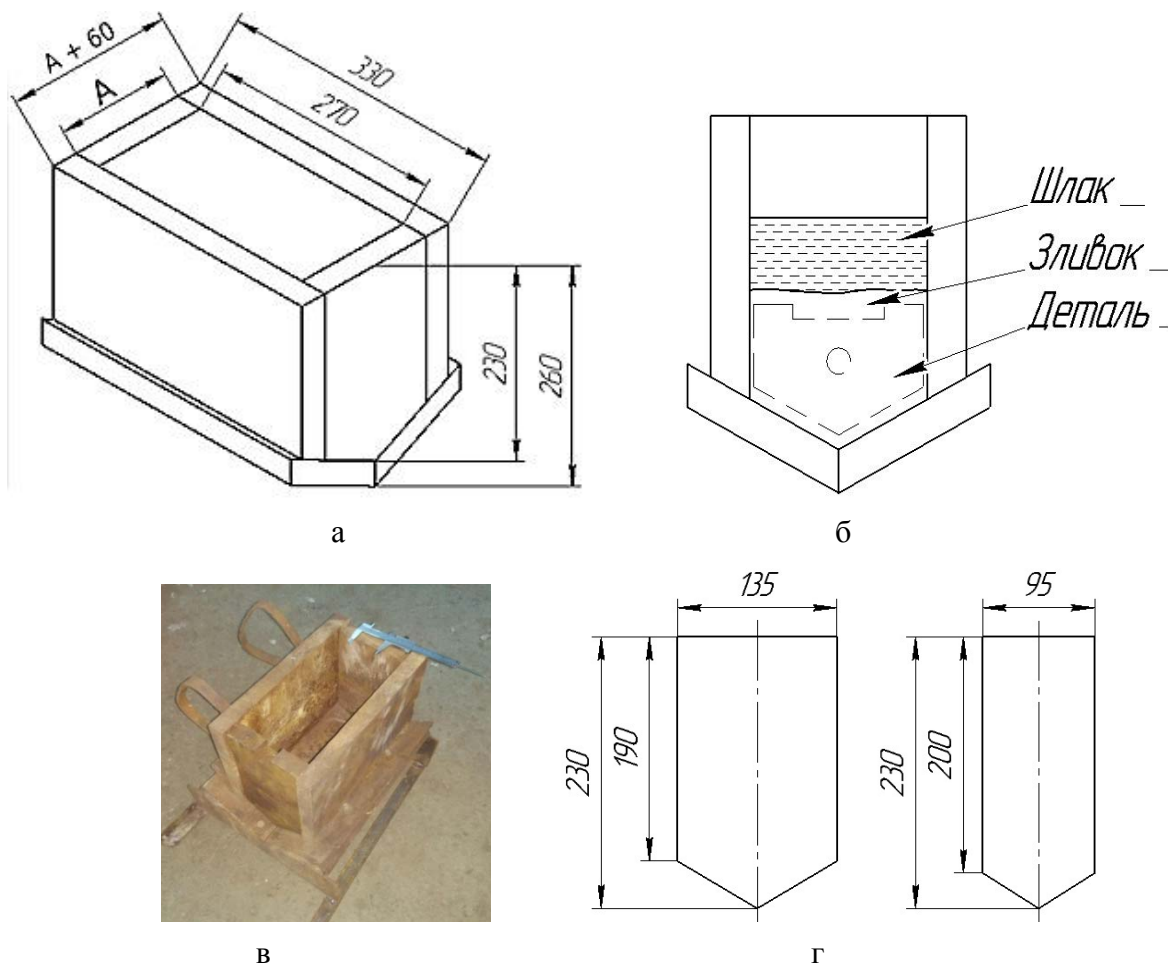


Рис. 6. Кокіль та схема формування зливка:

а – загальна схема кокілю; б – схема формування зливка; в – загальний вигляд кокілю; г – змінні вставки

Процес розпочинали твердим стартом. Розігрів і плавлення шлаку проводиться при плавному наростанні струму шлакової ванни до 1,5 кА. Напруга на електроді 40 В. У кінці плавки здійснювали перегрів шлакової ванни протягом 2...3 хв. Перед виливанням металу, кокіль підігрівали до температури 100...120 °С. Виливання зливка проводили з переверотом тигля із встановленим на ньому кокілем на 180°.

Експериментальним шляхом встановлено, що стружку відходів сталі Р18 слід подавати на електрод на відстані 200 мм від шлакової ванни. Під дією електромагнітних сил стружка налипає на графітовому електроді. За рахунок випромінювання шлакової ванни та тепла розігрітого електроду, відбувається розігрів стружки, залишки МОР спалахують та вигоряють. При досягненні температури Кюрі (T_c) стружка перестає бути магнітною і рівномірно обсыпається на поверхню шлакової ванни. При меншій відстані, повне вигорання залишків мастильно-охолоджуючих рідин не відбувається, що викликає кипіння шлакової ванни, виплески шлаку, а процес переплаву стає нестабільним. При більшій відстані, стружка просипається мимо шлакової ванни та шунтує на металевий корпус тигля.

При вигоранні, залишки МОР у вигляді дисперсної сажі частково залишаються на поверхні стружки, яка потрапляє у шлакову ванну. Досліджені зразки стружки після вигорання МОР, відібрані над поверхнею шлакової ванни показали, що вони забруднені лише залишками сажі, волога та мастила відсутні. Дисперсні частинки сажі утримуються у тріщинах розвиненої поверхні стружки та не спливають у шлаковій ванні. Дисперсність частинок сажі та високі температури сприяють її розчинності у рідкому металі. В наслідок чого, вміст вуглецю в отриманих зливках збільшується з 0,8 % до 1,0–1,1 %. Вміст інших елементів злитків відповідає хімічному складу сталі Р18.

Встановлено, що за рахунок попереднього підігріву стружки на графітовому електроді, процес переплаву можливо вести на знижених режимах – струм 1,0 – 1,2 кА.

Проведені дослідні плавки показали, що при висоті зливка 150 мм глибина усадочної раковини не перевищує 10 мм. Виливки, отримані в кокілях, мають високу точність. Криволінійність поверхні становить 0,5 мм, що знаходиться в межах допуску на механічну обробку (рис. 7) та полегшує процес подальшого виготовлення свердла.

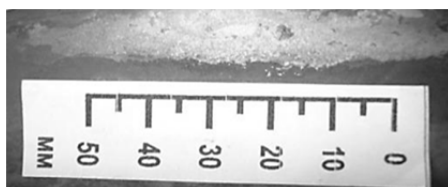


Рис. 7. Поверхня литої заготовки

Дослідження структури металу проводили на мікроскопі МІМ – 8. Шліфи травили розчином азотної кислоти в етанолі (4 % HNO_3).

Зливки заготовок інструменту мали характерну структуру направленої кристалізації. Стовпчасті кристали, які чітко видно на зламі зливка, загартованого з литого стану, спрямовані перпендикулярно до стінок кокілю (рис. 8). Структура злиwkів однорідна, дефектів металургійного характеру (пори, шлакові включення) відсутні.

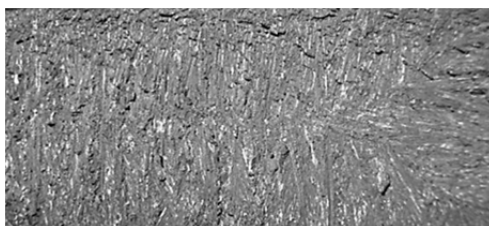


Рис. 8. Структура зламу зливка

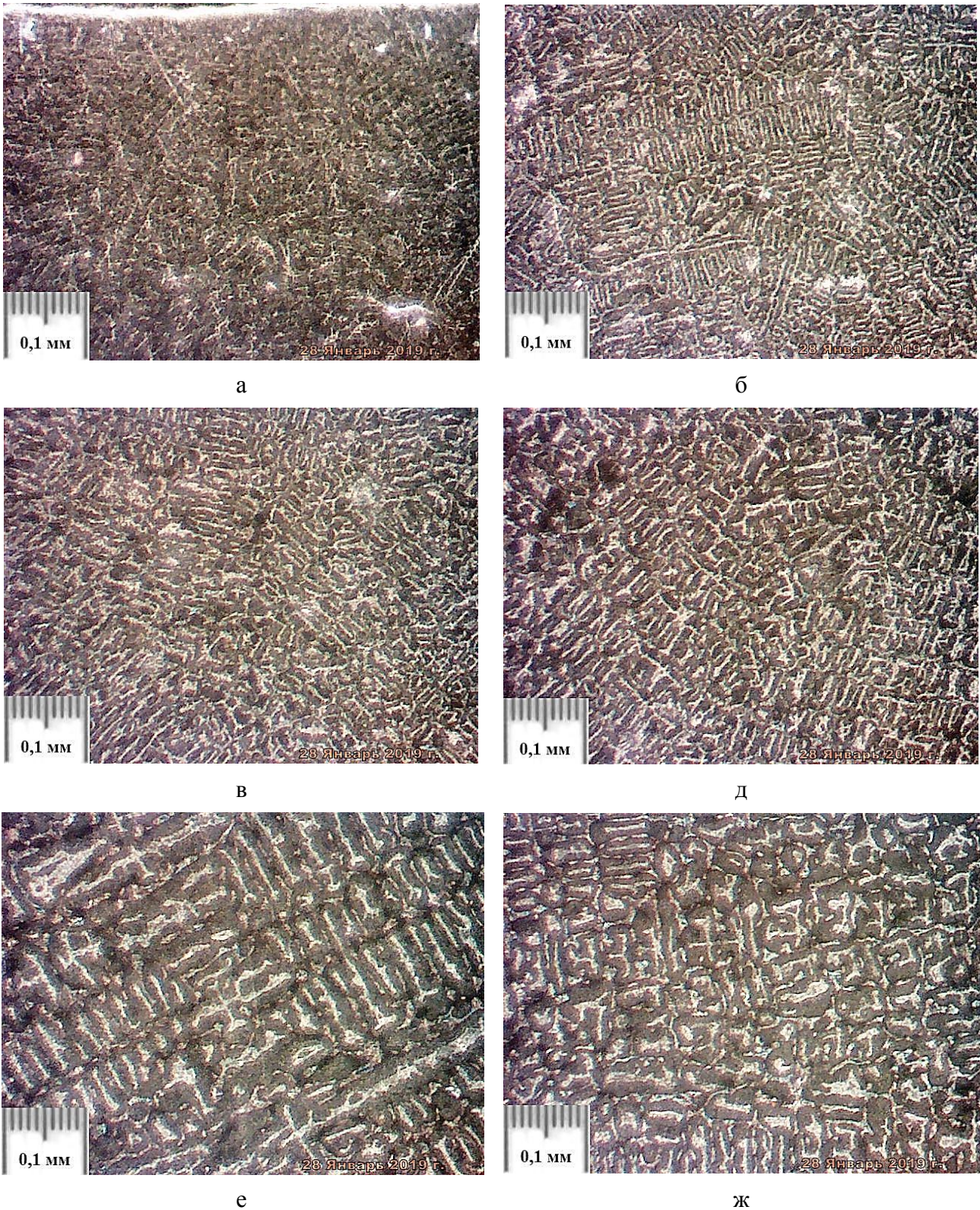


Рис. 9. Мікроструктура зливка:
відстань від краю: а – 3 мм; б – 10 мм; в – 15 мм; д – 20 мм; е – 30 мм; ж – 45–70 мм
(центр зливка)

Мікроструктура зливка характерна для лиття у кокіль (рис. 9). Як видно, структура периферійної ділянки зливка дрібна, суцільна ледебуритна та карбідна сітка відсутня, що важливо для умов різання. Наявність суцільної замкнутої карбідної сітки збільшує крихкість [8]

та приводить до викришування крайок лезового інструменту під час різання. На відстані 30 мм (рис. 9, е) спостерігається більш грубе зерно направленої кристалізації, а у центральній частині (рис. 9, ж) дезорієнтовані зерна оточені карбідною сіткою. Наявність грубого зерна та карбідної сітки у центральній частині зливка не впливає на його працездатність.

Найчастіше, з метою руйнування евтектики литих швидкоріжучих сталей застосовується довготривала високотемпературна обробка, яка полягає у ступеневому нагріві до 1300 °С і витримці при такій температурі 2 год. Перед операцією кування також застосовується ізотермічний відпал при температурах 840...860 °С, витримка 3 год, з наступною витримкою при 740...760 °С 7...8 год і повільним охолодженням.

Враховуючи відсутність у робочій частині інструмента суцільної замкнутої карбідної сітки та евтектики, а також те, що метою зменшення собівартості виробництва є скорочення часу виготовлення інструменту, в роботі запропоновано не застосовувати високотемпературний довготривалий дифузійний та сферодизуючий відпал.

Операція термічної обробки отриманих зливок полягає в ізотермічному відпалі зливка заготовки після лиття при температурі 925 ± 25 °С, витримці 3 години, охолодження до 740 ± 10 °С, витримці 3 години і наступному охолодженні із піччю [9]. Твердість зливка після відпалу становила HB 260...300. Після відпалу методами механічної обробки виготовлявся інструмент.

З метою збільшення розчинності карбідів дослідної сталі, з підвищеним вмістом вуглецю, запропоновано підвищити температуру гартування до 1325 ± 25 °С. В результаті твердість після гартування склала 54...58 HRC (табл. 1). Така низка твердість після гартування обумовлена збільшенням вмісту залишкового аустеніту у сталях із підвищеним вмістом вуглецю. З метою перетворення залишкового аустеніту у мартенсит, запропоновано збільшити температуру відпуску. Остаточна термічна обробка після гартування полягала в трикратному відпуску протягом години. Температура першого відпуску становила 600 ± 10 °С, а наступні два проводились за температурою 570 ± 10 °С. В результаті твердість підвищилася до 61...64 HRC (табл. 1). Така твердість є достатньою при різанні вуглецевих низьколегованих сталей типу 09Г2С.

Таблиця 1

Твердість виробів після термічної обробки

Твердість, HRC, після			
гартування	першого відпуску	другого відпуску	третього відпуску
54,0...58,0	57,0...59,0	59,5...63,0	61,0...64,0

Випробування ріжучих властивостей дослідної партії інструменту проводили при свердлінні отворів діаметром 95 мм на токарному верстаті ДІП-300 у поковках зі сталі 09Г2С. Результати випробувань показали, що характер зношування робочої кромки дослідного свердла, за умов однакових режимів різання, аналогічний зношуванню свердла виготовленого з кованого металу сталі Р18 за однаковий час різання. Викришування робочої крайки та розтріскування інструменту не спостерігалось. Переточування дослідного свердла не вплинуло на його різальну здатність.

Свердла виготовлені із відходів сталі Р18 у вигляді стружки методом електрошлакового кокільного лиття за експлуатаційними показниками рівноцінні свердлам із прокату сталі Р18.

ВІСНОВКИ

В результаті досліджень встановлено:

- стружку необхідно подавати на електрод на відстані 200 мм від шлакової ванни, що забезпечувало її розігрів за рахунок тепла розігрітого графітового електроду та згоряння залишків мастильно-охолоджуючих рідин;
- за рахунок попереднього підігріву стружки процес переплаву можливо вести на знижених режимах, струм 1,0–1,2 кА;
- при переплаві електрошлаковим методом з використанням графітового електроду стружки Р18 забрудненої МОР, відбувається збільшення вмісту вуглецю у зливках кокільного лиття з 0,8 % до 1,0–1,1 %;
- при термічній обробці литого металу доцільно підвищувати температуру гартування до 1325 ± 25 °С;
- для зменшення кількості залишкового аустеніту необхідно проводити трикратний відпуск. Температура першого відпуску 600 ± 10 °С протягом години. Наступні два відпуски слід проводити при температурі 570 ± 10 °С. В результаті чого твердість становить до 61...64 HRC;
- запропонована технологія дозволяє відмовитись від технології попереднього очищення стружки від залишків МОР, застосовувати спрощену технологію термічної обробки, відмовитись від операції кування із забезпеченням ріжучих властивостей свердла перового на рівні свердел, виготовлених з кованого металу Р18.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Палей М. М. *Технология производства металлорежущих инструментов [Текст] / М. М. Палей.* – М. : Машиностроение, 1982. – 256 с.
2. Сердюков А. В. *Электрошлаковый переплав в инструментальном хозяйстве завода [Текст] / А. В. Сердюков.* – Донецк : Донбасс, 1971. – 79 с.
3. Шаповалов В. А. *Переработка промышленных отходов металлопроизводства [Текст] / В. А. Шаповалов, Ф. К. Бурнашев, В. В. Степаненко, Н. В. Рейда // Современная электрометаллургия.* – 2013. – № 1. – С. 40–44.
4. Протокилов И. В. *Электрошлаковый переплав отходов прецизионных сплавов [Текст] / И. В. Протокилов, Д. А. Петров, В. Б. Порохонько // Современная электрометаллургия.* – 2016. – № 2. – С. 18–22.
5. Сидорчук О. М. *Швидкорізальна сталь струменевого формування з низьким вмістом вольфраму [Текст] / О. М. Сидорчук, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко // Металознавство та обробка металів.* – 2015. – № 1. – С. 24–29.
6. *Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве [Текст] / Б. И. Медовар, В. Л. Шевцов, Г. С. Маринский и др. ; под общ. ред. Медовара Б. И. – К. : Наук, думка, 1978. — 304 с.*
7. Глебов А. Г. *Электрошлаковый переплав [Текст] / А. Г. Глебов, Е. И. Мошкевич.* – М. : Металлургия, 1985. – 343 с.
8. Ревис И. А. *Структура и свойства литого режущего инструмента [Текст] / И. А. Ревис, Т. А. Лебедев. – Л. : Машиностроение, 1972. – 125 с.*
9. Гуляев А. П. *Металловедение [Текст] / А. П. Гуляев.* – М. : Машиностроение, 1981. – 541 с.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2019 р.