

УДК 111 УДК 669.15:620.17:621.77.3

Ярмошенко Д.В.<sup>1</sup>, Грабовський В.Я<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. ІФ-232м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ВІДПАЛУ НОВОЇ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ 4Х3НЗГ7М7Ф З РЕГУЛЬОВАНИМ АУСТЕНІТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ДИСПЕРСІЙНИМ ТВЕРДІННЯМ**

Гранична температура експлуатації навіть найбільш теплостійких серійних штампових сталей мартенситного класу знаходиться в межах 700-750 °С, що обумовлено принциповою особливістю структури їх основи. Водночас, при гарячій обробці металів тиском розігрів робочих частин інструментів може значно перевищувати вказані температури. Це обумовило необхідність пошуку для роботи при високих температурах штампових матеріалів іншого типу. Зокрема, як замітники серійних штампових сталей, пропонують сталі та сплави на основі ГЦК кристалічній ґратки з дисперсійним твердінням. Однак перешкодою широкого їх використання є коштовність та погана оброблюваність різанням. Таких недоліків значно позбавлені нові штампові сталі з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ). Вони мають ОЦК кристалічну ґратку при кімнатній температурі, що надає їм задовільну оброблюваність різанням, та набувають ГЦК кристалічну ґратку при нагріванні вище 500 – 600 °С, що збільшує опір високотемпературному знеміцненню. Вказане досягається зниженням на 200 –300 °С їх критичних точок порівняно з серійними теплостійкими

штамповими сталями. В результаті забезпечуються переваги сталей з РАПЕ для виготовлення пресових інструментів з температурами експлуатації вище 700 °С. Однією з першою таких розробок є сталь 4Х2Н5М3К5Ф (ЭП930). За результатами пошуку більш ефективного легування, запропонована нова штампова сталь з РАПЕ марки 4Х3Н3Г7М7Ф. Важливою її відмінністю від інших сталей з РАПЕ є здатність до дисперсійного твердіння. Зміцнювальна термічна обробка сталі 4Х3Н3Г7М7Ф полягає в гартуванні (обробці на пересичений твердий розчин) від температури 1150 °С та наступного старіння 725 °С, 2 години. Це забезпечує суттєве зростання високотемпературної (750 °С та вище) міцності цієї сталі - в 2 -3 рази порівняно з теплостійкими серійними штамповими сталями мартенситного класу. Однак, як і для інших сталей з РАПЕ, важливою задачею є пошук режимів її відпалу для отримання структури з якомога меншою твердістю і, відповідно, кращою оброблюваністю різанням. Труднощі такого пошуку обумовлені тим, що сталі з РАПЕ мають високу стійкість переохолодженого аустеніту (більше 30 годин) в області перлитного перетворення. Значно швидче повний розпад переохолодженого аустеніту відбувається в бейнітній області. Однак, як було попередньо встановлено для сталі 4Х2Н5М3К5Ф (ЭП930), такий бейніт має досить високу твердість (не менше 44 HRC), що робить важкою механічну оброблюваність сталі різанням. Необхідним є додатковий термічний вплив на бейнітну структуру для зменшення твердості таких сталей. Робота присвячена пошуку режиму відпалу сталі з РАПЕ 4Х3Н3Г7М7Ф, що забезпечує їй мінімальну твердість для кращої обробки різанням.

Зливки сталі 4Х3Н3Г7М7Ф отримували виплавою у відкритій індукційній печі місткістю 50 кг. Досліджена плавка сталі мала наступний вміст легувальних елементів (в % мас.): С 0,39; Cr 3,10; Ni 3,16; Mn 6,06; Mo 6,93; V 1,32. Кування зливок здійснювали на прутки квадратного перерізу зі стороною 35 мм, з яких виготовляли зразки для досліджень. Після кування та охолодження на повітрі сталь мала переважно мартенситно-бейнітну структуру з твердістю біля 45 HRC. При виборі температур відпалу враховували, що сталь має такі значення критичних точок:  $A_{c1} = 530$  °С,  $A_{c3} = 795$  °С,  $A_{r3} = 220$  °С. Обрана наступна схема дослідів по визначенню потрібного режиму відпалу сталі. Ковані зразки сталі спочатку піддавали аустенітизації в інтервалі температур 800-900 °С з витримкою 2 години та наступному охолодженню з піччю. Швидкість охолодження складала 50°С/с. Твердість після цього знижувалась з 45 HRC до 40-41 HRC. Далі виконували нагрів в інтервалі температур 580-730 °С з витримкою 4 години, після чого зразки також охолоджували з піччю. Отримані значення твердості для кожної температури аустенітизації змінювались в межах 36-40 HRC в залежності від температури витримки. Найменшу твердість (36 HRC) мали

зразки після витримки при 680 °С. З урахуванням отриманих результатів вирішили дослідити зміну твердості кованих зразків тільки після відпалу в області 650-700 °С (без попередньої) аустенітизації). Час витримки змінювали від 2-х до 6-ти годин, а охолодження проводили або з піччю або на повітрі. Встановлено, що найменшу твердість, що складає 34 HRC забезпечує відпал за режимом: 680 °С, 4 години, охолодження з піччю. За результатами металографічних досліджень мікроструктура сталі з мінімальною твердістю відповідає дрібнодисперсному перлиту з балом 1 за відповідною шкалою. Методом рентгеноструктурного аналізу встановлено, що кількість залишкового аустеніту в зразках з найменшою твердістю не перевищує 6 % при наявності в структурі карбідів типу  $Me_6C$  та  $Me_{23}C_6$ , а також слідів  $MeC$ . Таким чином, за результатами виконаних досліджень для кращої обробки різанням відпал заготовок сталі з РАПЕ марки 4ХЗНЗГ7М7Ф рекомендовано виконувати за режимом: 680 °С, 4 години, охолодження з піччю.