

3. Zhang Jianzhi. Designing principle for impregnated tools // 4th Zhengzhou International Superhard Materials & Related Products Conference Proceedings. China Machine Press. – 2003. – P. 386–393.
4. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. – К.: Наук. думка, 1979. –240 с.
5. Федорович В. А. Анализ эффективности использования алмазных зерен при шлифовании сверхтвердых материалов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2001. – № 60. – С. 235-243.
6. Гуцаленко Ю. Г. Аналитические посылки и технологические возможности операций устойчивого шлифования алмазными кругами на металлических связках // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2005. – № 69 – С. 43 –55.
7. Коновалов В. О., Петасюк О. У., Шатохин В. В. Визначення міцності закріплення алмазного зерна у зв'язці при циклічному навантаженні // Вісн. ЖДТУ / Техн. науки. – 2006. – № 3(38). – С. 25–30.

Поступила 4.06.09

УДК 004.942:621.785:621.9.025.7

В. А. Дутка, канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІЩЕННЯ ДЕРЖАВКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗЦЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗАГАРТУВАННЯ В ПОЛІМЕРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІСЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО ПАЯННЯ

The numerical results of prognostication of the hardness and thickness of surface layer of the steel (35ХГСА) holder in results of the hardening in water solution of polymer Na–КМС and in machine oil I-20 at 20 °C are presented. It is establish, that in polymer medium the cooling rate of the steel holder to temperature of start of the martensite transformation is in 2–3 times greater than in machine oil. But if cooling duration to temperature of termination of the martensite transformation is smaller than 70 c, than results of the hardening in polymer medium and in machine oil are practically identical. It is shown that one way to influence on results of the hardening may be the choice of the cooling duration in the air after induction heating.

Вступ

Одна з причин широкого використання водних розчинів полімерів як гартовуючих рідин полягає в тому, що, змінюючи їх концентрацію, можна змінювати охолоджувальну властивість загартовувального середовища в широких межах: від наближеної до води до наближеної до мастила [1–3]. Крім того, на відміну від мастил використання полімерних середовищ для загартовування деталей пожежобезпечне. Результати комп'ютерних досліджень загартовування у водному розчині солей і основ, у воді та мастилах сталеві державки (сталь 35ХГСА) твердосплавного різця одразу після індукційного паяння наведені в [4, 5]. Показано, що загартовування у розчині солей і основ та у воді відбувається зі швидкістю охолодження, що набагато більша (майже на порядок), ніж у мастилах. Відповідно в результаті загартовування в перших двох рідинах можна отримати максимальну для сталі 35ХГСА тве-

рдість загартовуваного приповерхневого шару державки, у той час як для мастил такого результату отримати неможливо. Природно постає є питання про дослідження загартовування в полімерних середовищах.

Комп'ютерні експерименти

Ця робота присвячена чисельному дослідженню процесу загартовування сталевій (сталь 35ХГСА) державки твердосплавного різця у водному розчині полімеру Na-КМЦ. Технологічно процес загартовування здійснювали так: на стадії індукційного паяння твердосплавної вставки різця до його державки поверхня державки нагрівається протягом 50 с до температури, вищої на 30–50 °С від $t_{A_{c3}}$ – температури β - γ -перетворень у цій сталі як для доевтектоїдної сталі. Після індукційного паяння протягом певного часу t_{ox} відбувається різець охолоджували на повітрі, після чого загартовували. Значення t_{ox} вибирали якомога меншим, але таким, щоб за цей час припій, яким твердосплавна вставка припаюється до державки, встиг затверднути. Для чисельного дослідження температурного стану різця і прогнозування твердості та товщини загартовуваного приповерхневого шару державки використовували чисельну методику [4], яка містить комп'ютерну модель індукційного нагрівання, температурного поля на стадії охолодження на повітрі та у процесі загартовування.

Для комп'ютерних досліджень розрахункові схеми (рис. 1), які використовуються для моделювання процесів індукційного паяння різця, його охолодження на повітрі при перенесенні від індуктора до загартовувальної рідини та під час загартовування, вибирали як у [5].

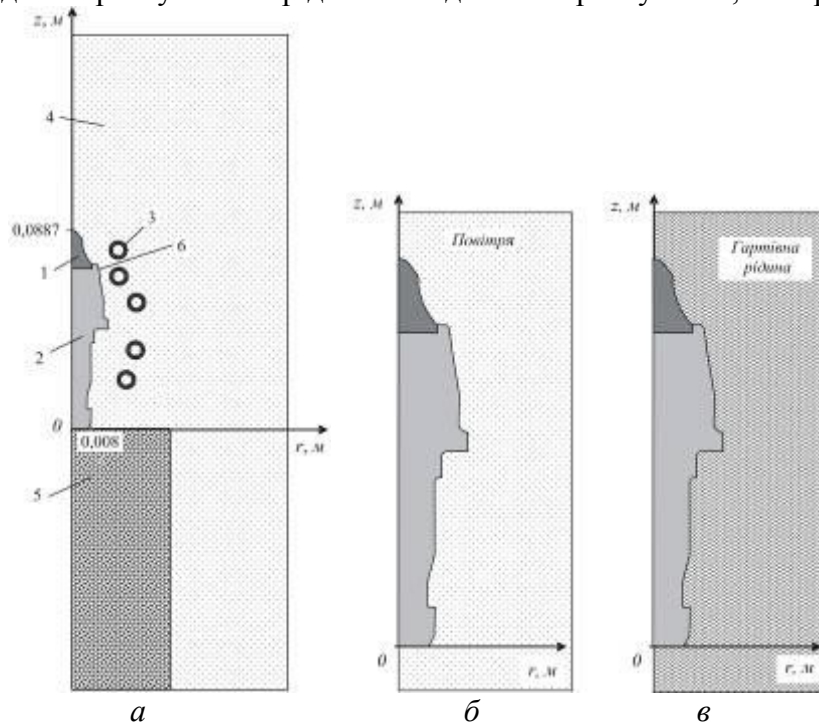


Рис. 1. Розрахункові схеми (половина осьового перерізу просторової області) процесів: а – індукційного паяння різця; б – охолодження на повітрі; в – охолодження в гартівній рідині; 1 – твердосплавна вставка різця (сплав ВК8); 2 – сталева державка різця; 3 – витки індуктора (мідь); 4 – повітря; 5 – підставка (вогнетривка цегла); б – зона поверхні державки поблизу вставки

Тривалість нагрівання різця електричним струмом силою 510 А та частотою 66000 Гц дорівнювала 50 с. Тривалість охолодження різця потоком повітря зі швидкістю 7–10 м/с, що характеризується коефіцієнтом конвективного теплообміну 90 Вт/(м²·°С), становила 8 с. При моделюванні процесу загартовування у водних розчинах полімеру використовували коефіцієнти конвективного теплообміну [2], графіки $\alpha = \alpha(T)$ температурної залежності яких показані на рис. 2. Для визначення твердості в точках об'єму загартованої державки та товщини

загартуваного приповерхневого шару використовували термокінетичну діаграму (ТКД) перетворення переохолодженого аустеніту (рис. 3) для сталі 35ХГСА [6]. Обчислення твердості в точках об'єму державки, охолодженої нижче температури завершення мартенситних перетворень $M_3 = 125$ °С використовували функціональну залежність твердості сталі від тривалості загартування (рис. 4), отриманої з даних, поданих на термокінетичній діаграмі.

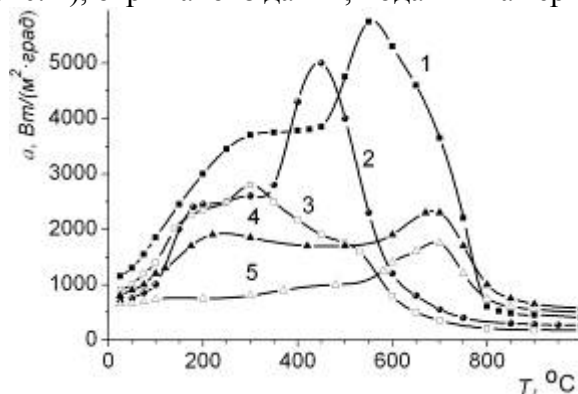


Рис. 2. Температурні залежності коефіцієнта теплообміну металевго зразка при його охолодженні у водному розчині полімеру Na–KMЦ [2] концентрації 0,5 % (1), 1,5 % (2), 2,5% (3), 0,65 % (4) та асталі И-20 (5) (T , °С – температура поверхні зразка)

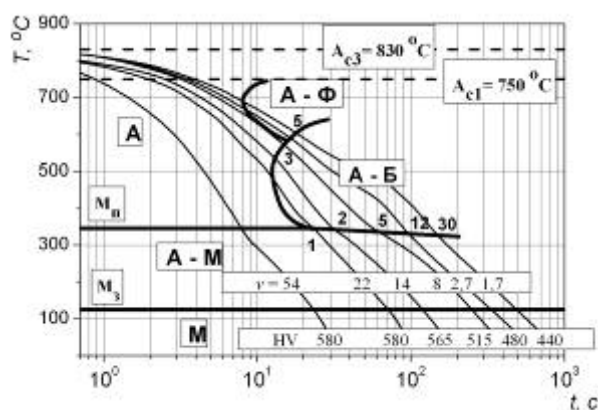


Рис. 3. Термокінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту для сталі 35ХГСА [6]: А – аустеніт; Ф – ферит, Б – бейніт; М – мартенсит; M_n , M_3 – температура відповідно початку та завершення мартенситного перетворення аустеніту; v – швидкість (°С/сек) охолодження в інтервалі температур 850–500 °С; цифрами позначено кількість певної фази (%) при виході траєкторії охолодження з відповідної області фазових перетворень

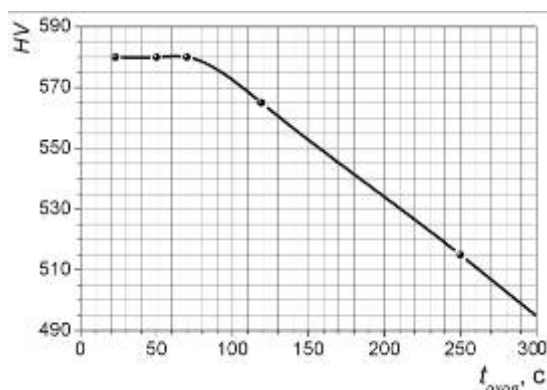


Рис. 4. Залежність твердості сталі 35ХГСА від тривалості охолодження t_{ox} до температури завершення мартенситних перетворень M_3

За результатами обчислень температурного поля в об'ємі різця побудували графіки зміни температури в окремих точках об'єму державки у процесі загартовування (траєкторії охолодження або ТКД-траєкторії). При цьому на графіки наносили межі областей фазових перетворень на ТКД для сталі 35ХГСА. Це дало змогу наочно оцінити результати процесу загартовування та визначити можливість досягнення певного рівня твердості точок загартованого приповерхневого шару державки.

Результати чисельних експериментів

Для зображеної на рис. 1 конфігурації індуктора силу струму в ньому вибирали такою, щоб у момент завершення нагрівання (50 с) на всій поверхні контакту твердосплавної вставки з державкою (від точки 1 до 4 на рис. 5) припій, температура плавлення якого дорівнює 930 °С, повністю розплавився. Після цього різець інтенсивно охолоджували потоком повітря до моменту (58 с), коли на всій поверхні припаювання температура стала нижчою від температури солідусу (915 °С) припою. У момент 58 с починали охолоджувати державку різця в загартовувальній рідині.

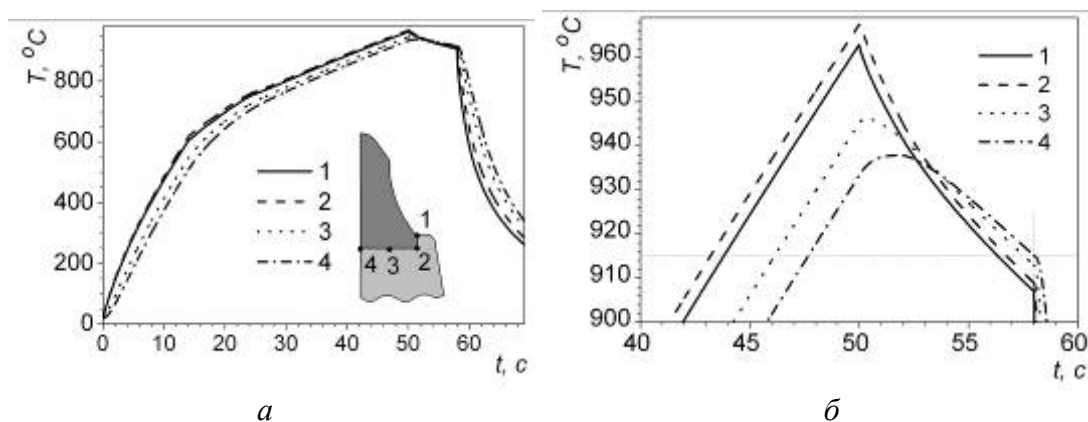


Рис. 5. Зміна температурного поля в точках поверхні припаювання твердосплавної вставки до сталевій державки: а – протягом індукційного нагрівання, охолодження на повітрі та на початку гартування в рідині; б – збільшений фрагмент графіка

Комп'ютерне дослідження процесу загартовування виконували для чотирьох випадків: у водних розчинах полімеру концентрацій 0,5; 1,5; 2,5 і 0,65 % та мастилi И-20 кімнатної температури. За результатами обчислень побудували графіки зміни в часі температури в окремих характерних точках об'єму державки різця. На рис. 6 представлено графіки зміни в часі температури точок державки для випадків охолодження в полімерному середовищі концентраціями 0,5 % (рис. 6 а, б) та 0,65 % (рис. 6 в, г). Картини таких самих графіків для концентрацій 1,5 % і 2,5 % займають у координатній площині “час–температура” проміжні положення між зазначеними на рис. 6 крайніми випадками значень послідовності концентрацій 0,5; 1,5; 2,5; 0,65 % і поступово зміщуються в додатному напрямку осі часу відповідно до такої послідовності зміни концентрації: 0,5 → 1,5 → 2,5 → 0,65 %.

Як засвідчують результати обчислень, швидкість охолодження в гартувальній рідині зменшується зі зміною концентрації в наведеній послідовності і як наслідок збільшуються моменти часу входження траєкторій охолодження точок об'єму державки в області фазового перетворення аустеніту на ферит, бейніт та мартенсит. Причому, лише в разі загартовування в розчині полімеру з концентрацією 0,5 % траєкторії охолодження практично всіх точок поверхні державки обминають області фазових перетворень аустеніту на ферит та бейніт і прямують в область перетворення аустеніту на мартенсит (рис. 6, а). Отже для вибраного режиму охолодження на повітрі як складової режиму гартування, можна загартувати робочу поверхню державки різця до максимальної твердості. З огляду на зазначене та рис. 6, в, г впливає, що такого самого результату можна досягти і для трьох інших концентрацій розчину полімеру, якщо після завершення індукційного нагрівання змінити режим охолодження різця

на повітрі, а різець охолодити до затверднення припою менш як за 8 с. При цьому траєкторії охолодження змістяться вліво вздовж осі часу. І навпаки, якщо потрібно отримати меншу твердість (і більшу в'язкість) загартованого приповерхневого шару державки, можна збільшити тривалість охолодження різця на повітрі після індукційного нагрівання. Тоді траєкторії охолодження точок приповерхневого шару державки змістяться вправо вздовж осі часу і в пізніші моменти увійдуть в область перетворення аустеніту на мартенсит. Внаслідок цього у структурі загартованого приповерхневого шару державки буде менший відсотковий вміст мартенситу. Таким чином, керувати режимом загартовування державки різця можна як шляхом вибору концентрації водного розчину полімеру, так і шляхом зміни інтенсивності охолодження різця на повітрі після індукційного нагрівання.

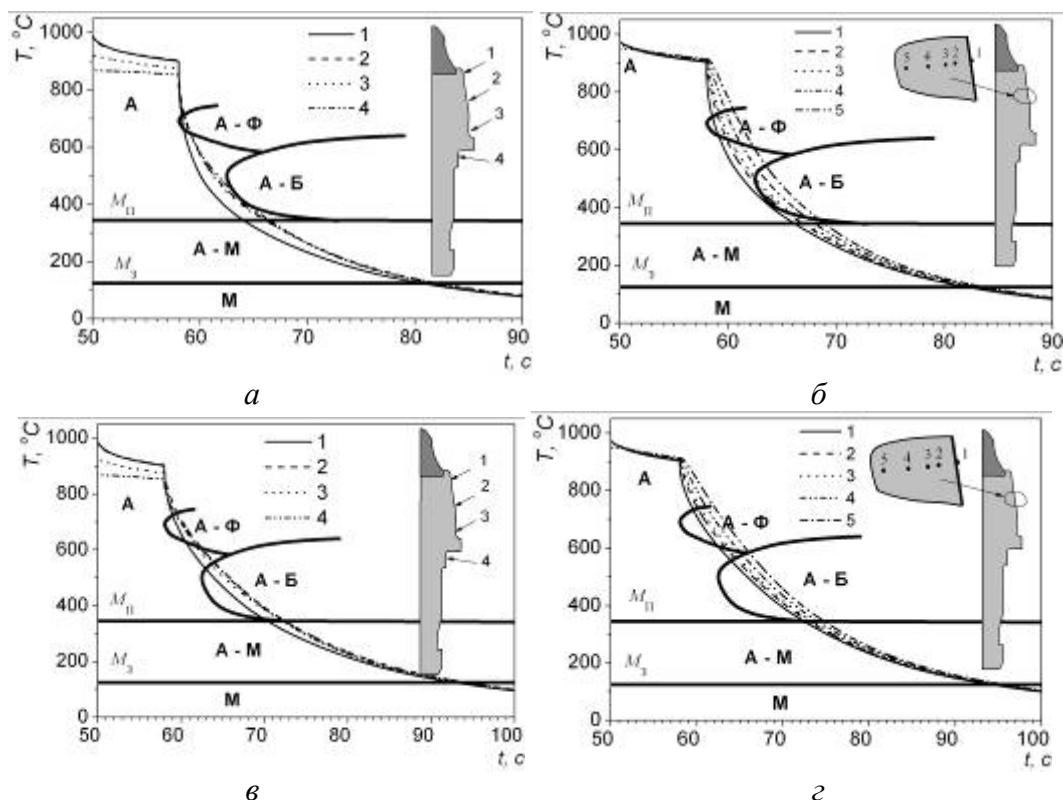


Рис. 6. Графіки зміни в часі температури в точках поверхні державки різця (а, в) та її приповерхневого шару (б, г) у процесі загартовування у водному розчині полімеру Na-КМЦ концентрації: а, б – 0,5 %, в, г – 0,65 %; координати точок, м: 1 (0,0123; 0,0676, 2 (0,0114; 0,0675), 3 (0,0109; 0,0675), 4 (0,0097; 0,0673), 5 (0,0081; 0,0671)

Як видно з рис. 6 і 7, охолоджувальна здатність мастила И-20 менша, ніж охолоджувальна здатність кожного з чотирьох водних розчинів полімеру: середня швидкість охолодження поверхні державки різця від 915 °С до температури початку мартенситного перетворення аустеніту у водному розчині полімеру чотирьох концентрацій у 2–3 рази більша, ніж у мастилі.

Найближчою до охолоджувальної здатності мастила И-20 є охолоджувальна здатність розчину полімеру концентрацією 0,65 % (близькість графіків температурної залежності коефіцієнта теплообміну в досліджуваному розчині та мастилі И-20). Для того щоб у цьому розчині полімеру отримати результати загартовування (твердість, в'язкість, товщину загартованого приповерхневого шару), близькі до результатів загартовування в мастилі, необхідно збільшити тривалість охолодження різця $t_{\text{ох}}$ після індукційного нагрівання на $\Delta t_{\text{ох}}$. Результати нескладних розрахунків з використанням ТКД (див. рис. 3) рис. 6, в, г і 7, показують, що $\Delta t_{\text{ох}}$ для цього випадку потрібно вибирати з інтервалу (0; 28 с). Остаточню $\Delta t_{\text{ох}}$ необхідно

визначати на основі результатів лабораторних експериментів. Таким чином, при використанні для загартовування державки різця водного розчину полімеру певної концентрації шляхом вибору тривалості охолодження різця t_{ox} після індукційного паяння можна отримати результати загартовування в полімерному середовищі, які будуть близькими до результатів загартовування в мастилі.

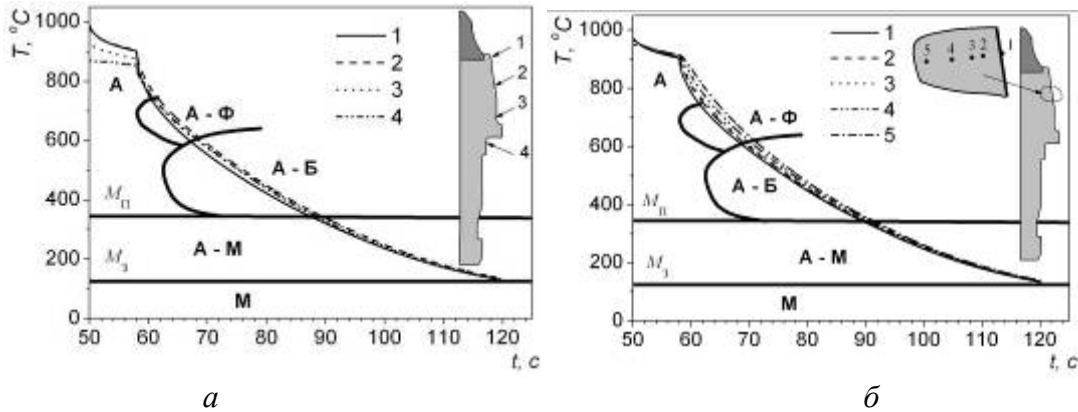


Рис. 7. Траєкторії охолодження точок поверхні державки різця (а) та її приповерхневого шару (б) у процесі загартовування в мастилі ІІ-20

Як бачимо з рис. 6 і 7, тривалість охолодження t_{ox} у мастилі приповерхневого шару державки до досягнення температури завершення мартенситного перетворення M_3 на 25–30 с (порівняно з тривалістю охолодження 33–70 с) перевищує тривалість охолодження до цієї самої температури в полімерних середовищах. Проте виходячи з даних ТКД (див. рис. 3) та графіка залежності твердості сталі 35ХГСА від тривалості охолодження до температури M_3 (див. рис. 4) доходимо висновку, що така відмінність тривалості процесу загартовування не зумовлює суттєву відмінність твердості загартовуваного приповерхневого шару державки. Це пов'язано з тим, що при $t_{ox} < 70$ с твердість загартовуваного шару державки становить 580 НВ і тільки починаючи з $t_{ox} = 70$ с, твердість загартовуваного шару зменшується зі збільшенням t_{ox} (рис. 7). Звідси випливає, що згідно з ТКД (див. рис. 3) для розглянутих режимів загартовування як у полімерному середовищі, так і в мастилі можна отримати твердість загартованої поверхні державки різця на рівні, максимально можливого для сталі 35ХГСА. Слід зазначити, що за даними ТКД для сталі 35ХМ [7], яка вважається одним із заміників сталі 35ХГСА, максимальна тривалість охолодження від температури 900 °С до температури завершення мартенситних перетворень аустеніту дорівнює 20 с, тобто в 3,5 раза менша, ніж для сталі типу 35ХГСА. Звідси випливає, що при використанні ТКД сталі-замінника для прогнозування результатів загартовування державки зі сталі 35ХГСА можна отримати занижену твердість.

Отже, результати загартовування залежать не лише від тривалості охолодження t_{ox} деталі від температури загартовування до температури завершення мартенситного перетворення аустеніту у сталі, а й від інших факторів: режиму загартовування, траєкторії охолодження, вигляду ТКД та ін. З огляду на це графічна залежність твердості від t_{ox} наближен, рис. 4. Отримані результати обчислення можуть бути відправною точкою при виборі режимів індукційного паяння та подальшого загартовування твердосплавного різця. Очевидно, для остаточного визначення параметрів цих режимів потрібні лабораторні експерименти. Отримані результати потрібні для розширення можливостей вибору загартовувальних середовищ та оптимізації технологічного процесу індукційного паяння твердосплавного різця з подальшим загартовуванням його державки.

Висновки

За результатами комп'ютерних експериментів встановлено, що швидкість охолодження сталеві державки (сталь 35ХГСА) твердосплавного різця у водних розчинах полімеру

Na–KMЦ до температуры початку мартенситного перетворення аустеніту на мартенсит у 2–3 рази більша, ніж мастила И-20. Однак якщо після завершення паяння тривалість охолодження до температури завершення мартенситного перетворення аустеніту не перевищує 70 с, результати загартовування державки різця (твердість та товщина приповерхневого шару державки) у цих середовищах збігаються. Показано, що одним з способів впливу на результати загартовування може бути вибір тривалості охолодження різця на повітрі одразу після завершення індукційного паяння перед загартовуванням.

Література

1. Русов К. Д., Эдемский С. Г. Новая полимерная закалочная среда УЗСП-1 // *Металлловедение и термическая обработка металлов*. – 1986. – № 10. – С. 29–31.
2. Исследование возможности использования полимерной среды Na-KMЦ для закалки рельсов и деталей рельсовых скреплений / А. В. Захаров, Ю. Э. Эйсмонтдт, Л. П. Щербакова, и др. // *Металлловедение и термическая обработка металлов*. – 1991. – № 4. – С. 24–27.
3. Новая полимерная закалочная среда Акресол / В. В. Горюшин, С. Ю. Шевченко, А. Г. Петропавловский, В. Н. Цурков // *Металлловедение и термическая обработка металлов*. – 2008. – № 4. – С. 49–52.
4. Дутка В. А. Чисельна методика прогнозування твердості поверхневих шарів державки твердосплавного різця в результаті загартовування після індукційного паяння // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 11. – Киев: ИСМ им.В.Н.Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 394 – 401.*
5. Дутка В. А. Прогнозування зміцнення поверхні державки твердосплавного різця в результаті загартовування після індукційного паяння // *Сверхтвердые матер.* – 2008. – № 5. – С. 66–78.
6. Шоршоров М. Х., Белов В. В. Фазовые превращения и изменения свойств стали при закалке. Атлас. – М.: Наука, 1972. – 220 с.
7. Попова Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста. – М.: Металлургия, 1991. – 504 с.

Надійшла 12.06.09 р.

УДК 621.941

Л. Н. Девин, д-р. техн. наук, А. А. Осадчий, А. Г. Сулима

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛЛОВ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Damping capacities of cutting tool and comparative analysis of different materials, which can be used as a spacer in cutting tool were considered. Influence of damping elements on the intensity of vibrations and capability of cutting tools by turning of hardened steels has been researched.

В машино- и приборостроении производительность механической обработки и качество обрабатываемых поверхностей деталей повышается различными методами. Однако