

Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування (огляд)

К. О. Гогаєв, член-кореспондент НАН України

О. М. Сидорчук, кандидат технічних наук

О. К. Радченко, доктор технічних наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

Інструментальні сталі для матриць гарячого деформування це леговані сталі з великою кількістю легуючих елементів (W, Mo, V, Ni, Co, Cr та ін.). Більшість з них утворюють стійкі карбідні та інтерметалідні фази, які підвищують теплостійкість. В основному ці сталі можна розділити на феритний та аустенітний класи. Сталі феритного класу менш теплостійкі, а аустенітного класу працюють при підвищених температурах. В сталях феритного класу при високих температурах відбувається коагуляція карбідних фаз і знижується теплостійкість в процесі відпуску. Є також проміжний клас сталей які при кімнатній температурі відносяться до феритного класу, а при експлуатаційній температурі переходять в аустенітну область. Такі сталі були названі сталями з регульованим аустенітним перетворенням.

Штампові сталі для гарячого деформування. Штампові сталі для гарячого деформування (ШСГД) мають найбільш важливі властивості, до яких відноситься зносостійкість та термостійкість за високих температур. До основних причин втрати працездатності штамів для гарячого деформування відносяться зношування, розгар (понижена термостійкість або менший опір термічній втомі) та зниження теплостійкості. Зношування інструмента може бути за рахунок окислення або абразивного зносу і при негативному співвідношенні цих факторів відбувається його розміщення та виникнення початкових тріщин. Виникнення розгарних тріщин відбувається при циклічному нагріві та охолодженні поверхні штампового інструмента [1].

Вплив хімічного складу на властивості ШСГД. На практиці показано, що легування ванадієм (до 1 %) хромомолібденової сталі підвищує її стійкість проти відпуску [2]. В результаті оптимізації вмісту ванадію вдалося розробити штампову сталь із меншим вмістом вольфраму та молібдену і, перші розроблені штампові сталі для гарячого деформування були типу 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 4ХМФС, 4ХМНФС розглядалися як сталі з помірною теплостійкістю та підвищеною вязкістю [3]. Добавки бора, магнію та рідкоземельних металів до складу штампової сталі помірної теплостійкості позитивно впливають на структуру в литому стані – підвищують пластичність та в'язкість [4]. Найбільш високу теплостійкість та вторинну твердість після гартування на мартенсит мають штампові сталі з підвищеним

В роботі брав участь В. В. Лук'янчук

вмістом хрому марок 3X3M3Ф, 4X5MФС, 4XM2Ф, 4X5B2ФС, 5X2MНФ, 5X2B2M2ФС, 5X3B4MФ2С та ін. [3 – 6]. Збільшення хрому та вуглецю в сталі збільшує кількість карбідної фази $M_{23}C_6$, сприяє коагуляції карбідної фази та призводить до розміщення матеріалу в процесі відпуску. При збільшенні концентрації вольфраму та молібдену підвищується кількість карбідної фази M_6C , що впливає на теплостійкість сталі під дією впливу високої температури [5].

Вплив термічної обробки на структуру та властивості ШСГД.

Під час проведення термічної обробки в процесі перекристалізації (повний відпал), одержують структуру з пластинчастим перлітом, розмір зерна якого відповідає 1 – 2 бали (згідно до ГОСТ 5950-73), а карбіди $M_{23}C_6$, M_6C та MC складають в середньому 10 % [5]. В подальшому після механічної обробки заготовки та виготовлення матриць штампового інструмента проводиться термічне зміцнення (гартування та відпуск). Після гартування штампової сталі на мартенситну структуру наряду з цементитом (Fe_3C) присутні карбіди типу M_6C та MC . Відпуск штампових сталей для гарячого деформування проводять для одержання вторинної твердості під час якого утворюються карбідні фази типу MC та M_2C . Відпускають ШСГД на твердість 45 – 50 HRC, а для прес-форм лиття під тиском кольорових сплавів на твердість 40 – 45 HRC. Для підвищення ударної в'язкості проводять повторний відпуск при температурі на 30 – 40 °С нижче першого відпуску [3].

Проблеми ШСГД феритного та аустенітного класів. В залежності від марки сплаву, що деформують температура розігріву поверхневого шару сталі штампового інструмента може змінюватись від достатньо помірної (400 – 600 °С) до екстремально високої (700 – 900 °С). При робочих температурах до 600 – 650 °С задовільна стійкість інструмента у багатьох випадках забезпечується при використанні традиційних штампових сталей на базі α -твердого розчину вуглецю в залізі з карбідним зміцненням. При робочих температурах більше 650 °С навіть найбільш теплостійкі сталі (ГОСТ 5950-73), інтенсивно розміщуються, що є основною причиною швидкого виходу інструмента з ладу. Не вирішує проблему і використання жароміцних сталей аустенітного класу, які при високих температурах перевищують міцність штампових сталей на феритній основі і, дозволяють забезпечити значне підвищення стійкості інструмента. Але їх застосування обмежене в силу погіршеної обробки різанням, а також високої вартості легуючих елементів.

Сталі з регульованим аустенітним перетворенням. Виготовлення штампових сталей з вихідною феритною основою для роботи в аустенітному стані визначається положенням температур $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення, оскільки розігрів інструмента у процесі експлуатації повинен забезпечити проходження такого перетворення при наступній тривалій роботі сталі в аустенітному стані. Тобто протягом усього періоду високо-температурної експлуатації інструменту зберігається аустенітна структура сталі. Тому хімічний склад сталі повинен вибиратися таким чином, щоб температура $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення знаходилась нижче температур експлуатації інструмента. В цьому полягає відмінність від традиційного підходу до легованих

теплостійких штампових сталей, для яких, навпаки, підвищення температур фазових перетворень є одною із основних умов збільшення теплостійкості [5]. Стійкість інструмента для гарячого деформування значно підвищується при використанні цього класу штампових сталей [7]. Розробкою сталей для матриць гарячого деформування мідних сплавів займався Озерський О.Д. [7, 8]. Ним було досягнуто істотне підвищення стійкості матриць в процесі експлуатації до температур 900 °С. Проте одержання інструменту за традиційною технологією лиття [7, 8] є енергоємним і включає повний відпал за температури 860 °С, відпуск за температури 680 °С, кування заготовок за температури вище 1100 °С, відпуск за температур 560 – 620 °С. Собівартість такої сталі дуже висока. Після повного відпалу при виготовленні матриць штампового інструменту сталь 40X3H5M3Ф погано піддавалась обробці різанням. При використанні технології електрошлакового переплаву (ЕШП) [9, 10] з'явилася можливість скорочення термо-деформаційної обробки (ковки) сталі. Технологічний процес ЕШП забезпечував високу швидкість кристалізації розплаву та гальмував утворення грубої форми карбідної евтектики литої структури. За рахунок наявності мартенситної структури твердість одержаної штампової сталі у литому стані перевищувала 50 HRC. Така висока твердість також призводила до ускладнень, при подальшій її механічній обробці. Тому перед механічною обробкою сталі було запропоновано проводити – відпал. Розроблений раніше режим термічної обробки [7, 8] не був оптимальним з урахуванням подальшої механічної обробки різанням. Твердість заготовки після повного відпалу сталі перевищувала 40 HRC. Обробка сталі за температури 680 °С не забезпечувала сфероїдизації карбідної складової, і тому було запропоновано проводити неповний відпал (його вже використовували для заевтектоїдних сталей [11 – 13]), з метою одержання сфероїдизованої карбідної складової, зниження твердості та одержання перліто-сорбітної структури. Необхідно було встановити критичні точки A_1 та A_3 , щоб забезпечити оптимальний режим термічної обробки (неповний відпал за температури нагріву сталі між критичними точками). За результатами дилатометричного аналізу [9, 10] встановлено ці критичні точки: $A_1 = 700$ °С та $A_3 = 850$ °С та рекомендований режим сфероїдизуючого (неповного) відпалу за температури 750 ± 20 °С [14]. Після його проведення твердість становила 30 HRC, а структура являла собою перліто-сорбідну структуру та сфероїдизовану карбідну складову. Це дозволило краще обробляти різанням деталі при виготовленні матриць штампового інструменту. За технологічним процесом механічно-оброблені матриці зі сталі 40X3H5M3Ф, піддавали термічному зміцненню (гартуванню). Оптимальна температура гартування сталі становила 1020 ± 10 °С. Після гартування одержана твердість 48 – 49 HRC. Дослідження фазово-структурного стану термічно-зміцненої сталі 40X3H5M3Ф, від кімнатної температури до 800 °С, дозволило встановити співвідношення між структурними складовими при поступовому переході від α -Fe до γ -Fe [15]. При підвищенні температури зменшувалась кількість фази фериту та збільшувалась кількість аустеніту. При температурі 800 °С кількість аустеніту

становила 96,3 %, а кількість утвореної карбідної фази Fe_3Mo_3C дорівнювала 1,68 %. Високотемпературний рентгено-фазовий аналіз підтвердив правильність визначених критичних точок A_1 та A_3 [9, 10]. Була також встановлена залежність між фазово-структурним станом (α -Fe та γ -Fe) дослідженої сталі та величиною твердості за Віккерсом. З підвищенням температури збільшувалась кількість аустенітну і відповідно зменшувалась твердість. Така закономірність, дозволила підтвердити той факт, що у процесі роботи пресового інструменту вище при температурі 800 °C зберігалася аустенітна структура. Технологія виготовлення штампового інструменту (матриць) зі сталі РАП [9, 10, 14, 15] пройшла дослідно-промислове випробування на ВАТ “Артемівський завод по обробці кольорових металів” (Донецька обл., Україна). Пресували заготовку з діаметра $\varnothing 220$ (висотою 370 мм) до діаметра $\varnothing 67 \pm 0,1$ мм з мідно-нікелевих сплавів марок МНЖ 5-1 та МНЖМц 30-1-1 за температур 920 – 950 °C. Ця штампова сталь показала підвищену стійкості у три рази порівняно з інструментом зі штампової сталі 3ХЗМЗФ [16].

Перспективи розвитку ШСГД. Найбільш високу теплостійкість за температури експлуатації понад 750 °C мають штампові сталі з підвищеним вмістом кобальту типу 2Х6В3М2К8, Х2В6М6К12Н2 та ін. в яких основна фаза зміцнення є інтерметаліди типу $(Fe,Co)_2W$ та $(Fe,Co)_7W_6$. Вони виділяються при більш високих температурах відпуску (600 – 650 °C) і мають вищу стійкість порівняно з карбідами MC та M_2C [3, 5]. Тобто зберігається твердість 40 HRC після нагріву до 750 °C. Показано [5], що збільшення кількості кобальту у складі штампової сталі до 15 % підвищує її вторинну твердість на 2 – 3 HRC та теплостійкість на 10 – 20 °C, але собівартість цих сталей дуже висока. На сьогоднішній день для штампових сталей гарячого деформування актуальними задачами є зниження їх собівартості та підвищення теплостійкості. Саме економічна ефективність процесів формоутворення точних заготовок пресуванням, об'ємною штамповкою, литтям під тиском і т.д. визначається стійкістю робочого інструмента, і тому, штампові сталі з регульованим аустенітним перетворенням можуть бути застосовані для гарячого деформування кольорових металів та сплавів з температурою експлуатації до 950 °C.

Публікація виконана при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом № Ф73/93-2016.

Література

1. Гуляев А.Г. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – С. 375.
2. Гудермон Э. Специальные стали. – Т. II. – М.: Металлургиздат, 1960. – С. 1078 – 1079.
3. Арзамасов Б.Н., Брострем В.А., Буше Н.А. Конструкционные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 655 – 682.
4. Гурьев А.М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка.

- Дис. ... д.т.н.: 05.16.01. –Томск, 2001. – 487 с.
5. Позняк Л.А. Инструментальные стали. – Киев: Наук. думка, 1996. – С. 333 – 341.
 6. Федулов В.Н. Влияние количественного легирования инструментальных сталей для горячего деформирования на уровень их упрочнения // Литье и металлургия. – № 3. – 2015. – С. 123 – 131.
 7. Озерский А.Д., Кругляков А.А., Данилов А.Н. О выборе стали для матриц горячего прессования медных сплавов // Цветные металлы. – 1981. – № 8. – С. 83 – 84.
 8. Озерський А.Д., Кругляков А.А. Упрочнення сталі ЭП930 для матриць горячого пресування медних сплавів // Цветные металлы. – 1984. – № 10. – С. 76 – 78.
 9. Сидорчук О.М. Фазово-структурний стан сталі 40ХЗН5МЗФ в процесі перекристалізації // Современные проблемы физического материаловедения. Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия “Физико-химические основы технологии порошковых материалов” Выпуск 22. – Киев. – 2013. – С. 186 – 188.
 10. Гогаєв К.О., Сидорчук О.М., Радченко О.К. Штампова сталь для горячего деформування з регульованим аустенітним перетворенням, одержана електрошлаковим литтям // Металознавство та обробка металів. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.
 11. Гуляев А.П. Термическая обработка стали. – М.: МАШГИЗ, 1953. – С. 289 – 290.
 12. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
 13. Кондратюк С.Є., Кіндрачук М.В., Степаненко В.О. Металознавство та обробка металів. – Київ: Вікторія, 2000. – 372 с.
 14. Гогаєв К.О., Сидорчук О.М., Радченко О.К. Спосіб термічної обробки сталі для горячого пресування // Патент, № 94746, Україна UA, МПК (2014.01) C21 D 8/00 . – 25.11.2014 р.
 15. Гогаєв К.О., Сидорчук О.М., Радченко О.К. Структура та властивості загартованої сталі 40ХЗН5МЗФ, одержаної електрошлаковим перетопленням за високих температур // Металлофізика и новейшие технологии. – 2015. – № 12. – С. 1653 – 1661.
 16. Гогаєв К.О., Радченко О.К., Сидорчук О.М. Технологія виготовлення штампової сталі 40ХЗН5МЗФ для горячого деформування // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2013-2015 рр. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2015. – С. 669 – 672.

References

1. Guliaev A.G. Metallovedenie. М.: Metallurgiiia, 1986. – p. 375.
2. Gudermont E. Spetsial'nye stali, М.: Metallurgizdat, II tom, 1960. – pp. 1078 –1079.
3. Arzamasov B.N., Brostrem V.A., Bushe N.A. Konstruktsionnye materialy: Spravochnik. М.: Mashynostroenie, 1990. – pp. 655 – 682.
4. Gur'ev A.M. Ekonomnolegirovanye stali dlia lityh shtampov goriachego deformirovaniia i ih termotsiklicheskaia i himiko-termotsiklicheskaia obrabotka: dissertatsiia ... d.t.n.: 05.16.01, Tomsk. – 2001 – 487 p.
5. Pozniak L.A. Instrumental'nye stali. – Kiev: Naukova dumka, 1996. – pp. 333 – 341.
6. Fedulov V.N. Vliianie kolichestvennogo legirovaniia instrumental'nyh staley dlia goriachego deformirovaniia na uroven' ih uprochneniia // Lit'e i metallurgiiia. – №

3. – 2015. – pp. 123 – 131.
7. Ozerskii A.D., Krugliakov A.A. O vybere stali dlia matrity goriachego pressovaniia mednyh splavov // Tsvetnye metally. – 1981. – № 8. – pp. 83 – 84.
8. Ozerskii A.D., Krugliakov A.A. Uprochnenie stali EP930 dlia matrity goriachego pressovaniia mednyh splavov // Tsvetnye metally. – 1984. – № 10. – pp. 76 – 78.
9. Sydorchuk O.M. Fazovo-strukturnyi stan stali 40H3N5M3F v protsesi perekrystalizatsii // Sovremennye problemy fizicheskogo materialovedeniia. Trudy Instituta problem materialovedeniia im. I.N. Franstevicha NAN Ukrainy. Seriya “Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii poroshkovykh materialov” Vypusk 22. – Kiev, 2013. – pp. 186 – 188.
10. Gogaev K.O., Sydorchuk O.M., Radchenko O.K., Mamonova A.A., Koval’ O.Yu., Lukyanchuk V.V. Shtampova stal’ dlia gariachogo deformuvannia z regul’ovanyim austenitnym peretvorenniam, oderzhana elektroshlakovym lyttiam // Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. – 2014. – № 1. – pp. 40 – 45.
11. Guliaev A.P. Termicheskaia obrabotka stali. – M.: MASHGIZ. – 1953. – pp. 289 – 290.
12. Geller Yu.A. Instrumental’nye stali. – M.: Metallurgia, 1975. – 584 p.
13. Kondratyuk S.Ye., Kindrachuk M.V., Stepanenko V.O. Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. – Kyiv: Viktoriia, 2000. – 372 p.
14. Gogaev K.O., Sydorchuk O.M., Radchenko O.K., Lukyanchuk V.V. Sposib termichnoi obrobky stali dlia gariachogo presuvannia // Patent, № 94746, Ukraina YuA, MPK (2014.01) C21 D 8/00 . – 25.11.2014.
15. Gogaev K.O., Sydorchuk O.M., Radchenko O.K., Karpets’ M.V., Piatachuk S.G. Struktura ta vlastyvoli zagartovanoi stali 40H3N5M3F, oderzhanoi elektroshlakovym peretoplenniam za vysokym temperature // Metallofizika i noveishie tehnologii. – 2015. – № 12. – pp. 1653 – 1661.
16. Gogaev K.O., Radchenko O.K., Sydorchuk O.M., Lukyanchuk V.V. Tehnologii vygotovlennia shtampovoi stali 40H3N5M3F dlia gariachogo deformuvannia // Problemy resursu i bezbeky ekspluatatsii konstruksii, sporud ta mashyn. Zbirnyk naukovykh statei za rezul’tatamy, otrymanymy v 2013 – 2015. Instytut elektrozvaryuvannia im. Ye.O. Patota NAN Ukrainu, 2015. – pp. 669 – 672.

Одержано 15.10.16

К. А. Гогаев, О. Н. Сидорчук, А. К. Радченко

Инструментальные штамповые стали для горячего деформирования (обзор)

Резюме

Инструментальные стали для матриц горячего деформирования представляют собой легированные стали с большим количеством легирующих элементов (W, Mo, V, Ni, Co, Cr и др.). Большинство из них образуют устойчивые карбидные и интерметаллидные фазы, которые повышают теплостойкость. В основном эти стали можно разделить на ферритный и аустенитный классы. Стали ферритного класса менее теплостойкие, а аустенитного класса работают при повышенных температурах. В сталях ферритного класса при высоких температурах происходит коагуляция карбидных фаз и снижается теплостойкость в процессе отпуска. Существует также промежуточный класс сталей которые при комнатной температуре относятся к ферритному классу, а при эксплуатационной температуре переходят в аустенитную область. Такие стали были названы сталями с регулируемым аустенитным превращением.

K. O. Gogaev, O. M. Sydorчук, O. K. Radchenko

Instrumental stamp steels for hot deformation (review)

Summary

Tool steels for hot deformation matrix are with lots of steel alloying elements (W, Mo, V, Ni, Co, Cr, etc.). Most of them form stable carbide and intermetallic phases, which increase heat resistance. Most of these steels can be divided into ferritic classes and austenitic. Ferritic steel class is less heat-resistant, and austenitic class works at high temperatures. In ferritic class steels at high-temperature are carbide phases coagulate and heat resistance reduced during dispensing. There are also intermediate class steels that include reduced at room ferritic class temperature for, while operating junction temperature in the austenitic region. These steel were called austenitic steels with adjustable transformation.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2016 р.
Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2015 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,
спонсорів і рекламодавців:**

банк ДКСУ в м. Києві, р/р 31257293112215, код банку 820172

Отримувач – ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника

просимо надсилати до редакції,

вказавши номер і дату платіжного документа.