



УДК 621.74

Поступила 24.04.2015

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ СТАЛИ 75Х5ГМФС ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE NEW STEEL 75Х5ГМФС FOR THE INSTRUMENT OF COLD

В. Н. ФЕДУЛОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

V. N. FEDULOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Рассмотрены вопросы повышения стойкости инструмента холодной деформации. Разработан состав и исследованы механические свойства новой инструментальной стали 75Х5ГМФС, позволяющей посредством применения различных видов термической обработки, в том числе и высокого отпуска, и использования в литом состоянии применяться для изготовления инструмента холодного формообразования, например, при получении корпусов наручных часов из латунной заготовки.

The problems of improving tool life of cold deformation. Composition designed and studied mechanical properties of the new tool steel 75H5GMFS, by allowing the application of different types of heat treatment, including high-temperature tempering after casting, the use for the manufacture of cold-forming tool, for example, upon receipt of the housings of watches brass billets.

Ключевые слова. *Холодная штамповка. стойкость, инструментальная сталь, химический состав, литье, термическая обработка, твердость.*

Keywords. *Cold pressing, resistance, tool steel, the chemical compositions, thermal treatment, hardness.*

Среди многочисленных операций холодного деформирования наиболее тяжело нагруженными операциями являются объемная штамповка: прессование и высадка, а также вырубка и пробивка отверстий в твердых материалах. Условия работы инструмента при таких операциях достаточно полно можно охарактеризовать величиной удельных давлений, характером нагружения и температурой разогрева их рабочих частей.

Удельные давления предопределяются свойствами штампуемых материалов, скоростью и степенью деформации заготовок, видом смазки, конструкцией получаемой детали и тому подобными факторами реализуемого процесса. Величина удельных давлений при прессовании может достигать 2200–2500 МПа и более [1–3].

По характеру нагружения холодное деформирование можно разделить на два основных вида: плавная штамповка на гидравлических и механических прессах, наиболее характерная, например, для объемного прессования и резьбонакатных операций; ударная штамповка на чеканочных прессах, холодно-высадочных автоматах и быстроходных автоматических прессах [4, 5].

Разогрев поверхности инструментов наиболее нагруженных участков пуансонов и матриц во время эксплуатации в результате выделения тепла при деформации заметно повышается и достигает для высадочных инструментов 100–170°C, для пуансонов холодного обратного выдавливания – от 160–180 до 280–300°C в зависимости от условий охлаждения и работы. При этом изменения температуры носят циклический характер, оказывают влияние на уровень и знак возникающих напряжений и способствуют образованию и развитию микротрещин. В ряде случаев образуется характерное чешуйчатое скалывание. Значительное тепловыделение имеет место и при пробивке и вырубке листовых материалов на автоматических прессах. Температура режущих кромок вырубных штампов и ножей для рубки в зависимости от скорости деформирования и толщины материала заготовки может достигать, по данным [5], до 500–530°C. Такой же уровень разогрева может быть характерным и для объемной холодной штамповки, например, латунных заготовок для корпусов часов.

Очевидно, что разогрев материала инструмента до температуры выше, чем температура предшествовавшего отпуска, может приводить к разупрочнению используемой штамповой стали. Это сопровождается снижением твердости рабочих частей и преждевременным выходом инструмента из строя. Таким образом, значительный разогрев рабочих поверхностей инструмента для холодного деформирования требует повышения теплостойкости используемых инструментальных сталей. В отдельных случаях необходимо сохранять полученный во время отпуска уровень свойств при нагреве до 450–550 °С. Выполнение этих операций требует применения или создания специальных легированных сталей для инструмента холодной обработки металлов, чему и посвящено настоящее исследование.

Одним из способов достижения положительного результата при создавшейся ситуации может быть разработка новых составов инструментальных сталей по типу [6, 7], содержащих в своем составе вольфрам наряду с такими часто используемыми элементами, как хром, молибден, кремний (около 1%), марганец (около 0,5%) и ванадий (около 0,2–0,8%). Возможна также разработка и безвольфрамовой стали с присутствием в составе хрома в значительных количествах (до 5–6%), а также молибдена, кремния, марганца и ванадия (0,2–0,3%).

Немаловажным для инструментальных сталей холодного деформирования является понижение содержания в них серы и фосфора, что способствует повышению пластичности и ударной вязкости. Использование в настоящее время в металлургии вакуумной выплавки, вакуумирования стали при разливке, электрошлакового переплава, обработки синтетическими шлаками позволяет обеспечить в металле минимальное количество неметаллических включений и газов. Значительный интерес в условиях переплава вторичного лома представляет повышение чистоты металла при модифицировании его редкоземельными металлами (РЗМ) и другими элементами.

Цель настоящей работы – разработка и исследование свойств новой стали 75X5ГМФС. Эту разработку осуществляли для использования при изготовлении штампов холодного деформирования, в частности, для формовки латунных корпусов наручных часов, когда эксплуатация происходит под воздействием значительных деформаций сжатия и разогрева поверхности.

Задачей исследования являлось обеспечение твердости новой стали после закалки и низкого отпуска в пределах 58–61 HRC при удовлетворительном значении ударной вязкости. Это необходимо, как уже отмечалось, для повышения стойкости инструмента холодного формообразования деталей из латуни по сравнению с используемой в настоящее время сталью 4X5МФС, твердость которой не достаточна (не более 53 HRC) и уже при небольшом ресурсе работы пуансона и матрицы происходит возникновение наклепа металла на значительную глубину и образование усталостных трещин по границам зерен. В то же время необходимо было сохранить возможность использования операции электроэрозионной обработки при изготовлении матрицы и пуансона из-за сложности их рельефа. Стали, содержащие вольфрам в своем составе, плохо поддаются такому виду обработки. Решали также вопрос получения удовлетворительных механических свойств новой стали в литом состоянии после высокого отпуска при температуре 520–550 °С, так как предполагалась возможность ее использования с карбонитрованием рабочей поверхности из обмазки специального состава с нагревом до 500 °С в течение 5–6 ч [8].

Методическая часть работы состояла в подборе химического состава стали и последовательном изучении ее механических свойств в зависимости от проводимой термической обработки. Выплавку образцов проводили индукционным методом с заливкой в керамические формы. Химический состав и твердость определяли на образцах, вырезанных из перекованных заготовок, по методикам, приведенным в ГОСТ 5950 «Прутки и полосы из инструментальной легированной стали» для подобных случаев исследования, а ударную вязкость – по ГОСТ 1497.

В табл. 1 приведены результаты выплавки апробируемого состава новой стали 75X5ГМФС из вторичного лома стали 4X5МФС. Из данных табл. 2, где приведены механические свойства заготовок 100×60 мм новой стали после термического упрочнения, видно, что удалось достигнуть во многом требуемого эффекта. Закалку образцов проводили с предварительным подогревом при 850 °С в течение 0,5 ч, затем осуществляли подъем температуры до 1000 °С, выдержку в течение 1 ч и охлаждение в масле. Отпуск апробируемого состава новой стали проводили на первом этапе при температуре 150 и 250 °С.

Таким образом, легирование лома стали 4X5МФС дополнительным количеством углерода и марганца позволило создать новую сталь и значительно повысить твердость при удовлетворительном значении ударной вязкости для случая использования закалки и низкого отпуска. Открылась возможность использования новой стали 75X5ГМФС для изготовления инструмента холодного формообразования корпусов часов из латуни.

Т а б л и ц а 1. Химический состав опытной стали 75X5ГМФС

Содержание легирующих элементов, мас.%								
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P	Fe
0,76	0,86	0,76	4,98	1,28	0,38	0,03	0,025	90,925
0,85	0,6	0,90	4,5	0,7	0,5	0,03	0,025	91,895
0,65	1,2	0,30	5,5	1,5	0,3	0,03	0,025	90,495

Т а б л и ц а 2. Механические свойства опытной стали 75X5ГМФС

Значение механических свойств после отпуска		
150 °С, 2 ч		250 °С, 2 ч
твёрдость HRC (замер на поверхности)	ударная вязкость KCU, МДж/м ²	твёрдость HRC (замер на поверхности)
61–62	0,24–0,28	59–60
62–63	0,23–0,25	59,5–60
61–62	0,28–0,32	59–60

Закалка с температурой нагрева 1000 °С (выдержка в течение 1,5 ч) и охлаждением в масле позволяет получить в поверхностном слое стали мелкозернистую структуру, что определяется присутствием ванадия в нужном количестве [9]. Она состоит на достаточной глубине из тонкодисперсного теплостойкого мартенсита, что предопределено легированием в нужных пропорциях стали углеродом, хромом, кремнием, молибденом, ванадием и марганцем и равномерно распределенных износостойких первичных карбидов типа MC. После закалки в структуре также имеется большое количество отпускостойчивых карбидов типа M₆C и M₇C₃ из-за повышения содержания углерода. В структуре также присутствует в количестве до 8–10% остаточный аустенит за счет повышения содержания марганца, что способствует повышению ударной вязкости после проведения низкого отпуска. Молибден в количестве 0,7–1,5% при закалке устраняет выделение охрупчивающих структуру карбидов по границам зерен и способствует необходимому легированию мартенсита хромом, а также образованию высоколегированных твердых карбидов при закалке. Отпуск при температуре 150–250 °С в течение 2 ч из-за наличия значительного количества кремния в составе мартенсита способствует замедлению его распада, сохранению высокой твердости и повышению теплостойкости структуры стали в целом [9]. Это все явилось результатом рационального легирования состава новой стали.

Одновременно были отлиты заготовки для пуансонов (диаметр 55×50 мм) и матрицы (диаметр 100×65 мм) для холодной штамповки корпусов часов из латуни типа Л63. Припуск по фигуре ручья штампа составлял 0,3–0,4 мм и он должен будет удаляться после проведения упрочнения посредством выжигания специальным электродом, шлифовки и полировки. Остальная часть поверхности штампа должна будет подвергаться только шлифованию на круглошлифовальном станке на глубину 0,2–0,3 мм. Химический состав литой стали 75X5ГМФС и ее свойства после охлаждения и термической обработки высоким отпуском приведены в табл. 3, 4. Для сравнения приведены химический состав и механические свойства стали 7X2ГСВ2МФ [10].

Т а б л и ц а 3. Химический состав выплавленных сталей с использованием модифицирования мишметаллом двух новых инструментальных сталей

Марка стали	Содержание химических элементов, мас.%						
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
7X2ГСВ2МФ	0,66	0,98	0,65	1,57	2,19	1,09	0,49
75X5ГСМФ	0,65	0,65	0,48	5,04	0,07	0,71	0,48

П р и м е ч а н и е. Содержание серы в обеих сталях – не более 0,015, фосфора – не более 0,01%.

Проведение сразу после литья в керамическую форму и охлаждения на воздухе высокого отпуска при температуре 530 °С в течение 1 ч позволило получить твердость у поверхности отливки стали 75X5ГМФС, достаточную для использования при изготовлении штампов холодной формовки корпусов часов из латуни Л63. Для стали 7X2ГСВ2МФ такого же упрочнения у поверхности отливки можно полу-

чить лишь после охлаждения ее до 650 °С на воздухе, а затем уже в воде и отпуска при температуре 530 °С в течение 1 ч.

Использование разработанного состава новой инструментальной стали открывает возможность изготовления инструмента с применением закалки и низкого отпуска не только для холодного формообразования корпусов часов из латуни, но и другого инструмента. Новая сталь может обеспечить значительное повышение твердости при сохранении ударной вязкости на достаточном уровне после такого термического упрочнения. Возможно также применение и высокого отпуска, что открывает возможность использования операции ее карбонитрирования при температуре 500°С в новом составе обмазки. Эта операция обеспечит дополнительное поверхностное упрочнение рабочих частей и уменьшит их истирание. Внедрение разработки в производство может повысить стойкость инструмента из стали 75Х5ГМФС в 1,5–2,0 раза, например, по сравнению с используемой в настоящее время для матриц и пуансонов штампов холодного формообразования корпусов часов из латуни Л63 сталью 4Х5МФС.

Таким образом, использование новой марки стали 75Х5ГМФС позволит решить ряд производственных задач по изготовлению инструмента, необходимого для обработки конструкционных сталей и других сплавов в холодном виде и в то же время расширит представления о возможности развития инструментальных сталей.

Литература

1. Холодная объемная штамповка: Справ. / Под ред. Г. А. Навроцкого и др. М.: Машиностроение, 1973. 496 с.
2. Головин В. А., Митькин А. И., Резников Л. Т. Технология холодной штамповки выдавливанием. М.: Машиностроение, 1970. 141 с.
3. Филимонов Ю. Ф., Позняк Л. А. Штамповка прессованием. М.: Машиностроение, 1964. 188 с.
4. Позняк Л. А. Штамповые стали для холодного деформирования. М.: Металлургия, 1966. 147 с.
5. Михайленко Ф. П., Грикке А. Х., Демиденко Е. М. Автоматическая холодная штамповка мелких деталей на быстроходных прессах. М.: Машиностроение, 1965. 187 с.
6. Пат. 18639 РБ. Инструментальная сталь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко /Афіцыйны бюл. // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2014. № 5. С. 83.
7. Федулов В. Н. Выбор химических составов новых марок инструментальных сталей повышенной износостойкости для штампов холодного деформирования // Литье и металлургия. 2012. № 4 (88). С. 158–159.
8. Состав обмазки для диффузионного карбонитрирования стальных изделий. Заявка на изобретение №а 20140233 от 24.04.2014 г.; заявитель БНТУ / В. Н. Федулов.
9. Геллер Ю. Ф. Инструментальные стали. 5-е изд.: М.: Металлургия, 1983. 527 с.
10. Инструментальная сталь 7Х2ГСВ2МФ. Заявка на изобретение № 20121600 от 21.11.2012 г.; заявитель БНТУ / В. Н. Федулов.

References

1. *Holodnaya obemnaya shtampovka* [Cold forging]. Spravochnik pod redaktsey G. A. Navrozokogo i dr. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 496 p.
2. Golovin V. A., Mitkin A. I., Reznikov L. T. *Tehnologiya holodnoy shtampovki vydavlivaniem* [Cold forming technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970. 141 p.
3. Filimono v Yu. F., Poznyak L. A. *Shtampovka pressovaniem* [Pressing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1964. 188 p.
4. Poznyak L. A. *Shtampovye stali dlya holodnogo deformirovaniya* [Die steels for cold forming]. Moscow, Metaluriya Publ., 1966. 147 p.
5. Mihaylenko F. P., Grikke A. H., Dimidenko E. M. *Avtomaticheskaya holodnaya shtampovka melkih detaley na bystrohodnyh pressah* [Automatic cold pressing of small details on high-speed presses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965, 187 p.
6. Fedulov V. N., Sazonenko I. O. Instrumental naya stal [Tool steel]. *Patent RB*, no. 18639, 2014.
7. Fedulov V. N. Vybor himicheskikh sostavov novykh marok instrumental nyh staley dlya shampov holodnogo deformirovaniya [The choice of chemical compositions of new grades of tool steels for dies of cold deformation]. *Lit'e i metallurgiya – Foundry production and metallurgy*, no. 4 (88), 2012, pp. 158–159.
8. Fedulov V. N. Sostav obmazki dlya diffuzionnogo karbonitrirovaniya stal'nyh izdeliy [The composition of the coating for the diffusion carbonitriding of steel products]. *Zayavka na izobretenie RB*, no. a 20140233, 2014.
9. Geller Y. A. *Instrumental nye stali* [Tool steel]. 5 izdanie: Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 527 p.
10. Fedulov V. N., e. a. Instrumentalnaya stal 7X2ГСВ2МФ [Tool Steel 7X2ГСВ2МФ]. *Zayavka na izobretenie RB*, no. 20121600, 2012.

Сведения об авторе

Федулов Владимир Николаевич, канд. техн. наук. Белорусский национальный технический университет, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. моб. +375 (29) 631-09-85.

Information about the authors

Fedulov Vladimir, Ph. D in Engineering, Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus, tel.: +375 (29) 631-09-85.