

УДК 620.22

Е. В. Ромашков^{1*}, С. Е. Крылова^{2**}

¹АО «ПО «СТРЕЛА», г. Оренбург

²Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

evgeniyromashkov@yandex.ru*; *krilova@yandex.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *С. Е. Крылова*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Приведен сравнительный анализ сложнолегированных штамповых сталей с целью замены применяемой в настоящее время для изготовления пуансона машины литья под давлением стали 4Х4МВФС на более перспективную опытную сталь 70Х3Г2ФТР, исходя из условий эксплуатации и требований по механическим свойствам.

Ключевые слова: штамповая сталь, микролегирующий комплекс, термическое упрочнение, эксплуатационные свойства, сравнительный анализ.

E. V. Romashkov, S. E. Krylova

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND FRACTURE MECHANISM SPARINGLY-ALLOY STEEL HOT-DEFORMATION

A comparative analysis of complex alloyed die steel with the aim of replacing currently used for the manufacture of the punch machine die casting steel 4H4MVFS more promising experimental steel 70H3G2FTR based on operating conditions and requirements for mechanical properties.

Keywords: die steel, micro-alloying complex, thermal hardening operating ability, comparative analysis.

В современном машиностроении невозможно реализовать спроектированный технологический процесс без соответствующей оснастки, так как от правильного выбора приспособлений и других элементов технологического оснащения, зависят его технико-экономические показатели.

Наиболее ответственные детали штампов, пресс-форм, форм для литья металлов под давлением, матриц и пуансонов изготавливают из углеродистых и легированных инструментальных сталей определенных марок, выделенных в особую категорию и называемых штамповыми.

Штамповые стали после окончательной термической обработки должны обладать целым комплексом свойств: высокой твердостью на рабочих поверхностях и режущих кромках, износостойкостью, необходимой для сохранения формы и размеров рабочих кромок при эксплуатации штампа, в сочетании с высокой прочностью как рабочей кромки, непосредственно воздействующей на обрабатываемый материал, так и участков штампа, воспринимающих наибольшие изгибающие и скручивающие нагрузки. При этом термическое упрочнение должно обеспечивать повышенные механические свойства при высоких температурах (разгаростойкость).

Преобладающими причинами выхода из строя молотовых и прессовых штампов являются износ, смятие, термическая усталость и трещины разгара (до 70–90 %). Опыт эксплуатации штамповых сталей на предприятиях Оренбуржья показал ряд проблем, связанных с наличием эксплуатационных дефектов в виде трещин разгара, сколов на поверхности, низкой эксплуатационной стойкости и износостойкости штампов (рис. 1).



Рис. 1. Эксплуатационные дефекты штампового инструмента: *а* – пуансон из стали 4X4МВФС, твердость после разрушения – 52 HRC; *б* – молотовый штамп из стали 45X5МФ, твердость после разрушения – 45 HRC. Сколы, вызванные концентрацией напряжений, и образование трещин при эксплуатации. Трещины разгара на поверхности штампа при эксплуатации в течение 189 циклов.

Одним из вариантов решения производственных задач повышения работоспособности штамповых инструментов является повышение эксплуатационной стойкости штампа путем выбора оптимального микролегирующего комплекса и оптимизации режимов термической обработки опытных сталей инструментального класса.

Для решения данной проблемы опирались на производственный опыт эксплуатации штамповой стали 4X4МВФС, предназначенной для изготовления прессформ для литья под давлением. Химический состав данной стали представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали 4Х4МВФС

C	Mn	Si	S	Cr	Ni	Cu	Nb	W	Al	Mo	V	Ti
0,41	0,26	0,85	0,02	3,2	0,2	0,115	0,008	1,07	0,05	1,26	0,6	0,023

На рис. 1 видно, что при эксплуатации произошло разрушение центральной части штампа (пуансона) под воздействием критических напряжений. Изучение механизма разрушения и поверхность излома стали 4Х4МВФС показали, что в общем виде излом имеет ступенчатый вид разрушения, образующийся при соединении двух микроповерхностей разрушения, расположенных на разных уровнях (рис 2, а).

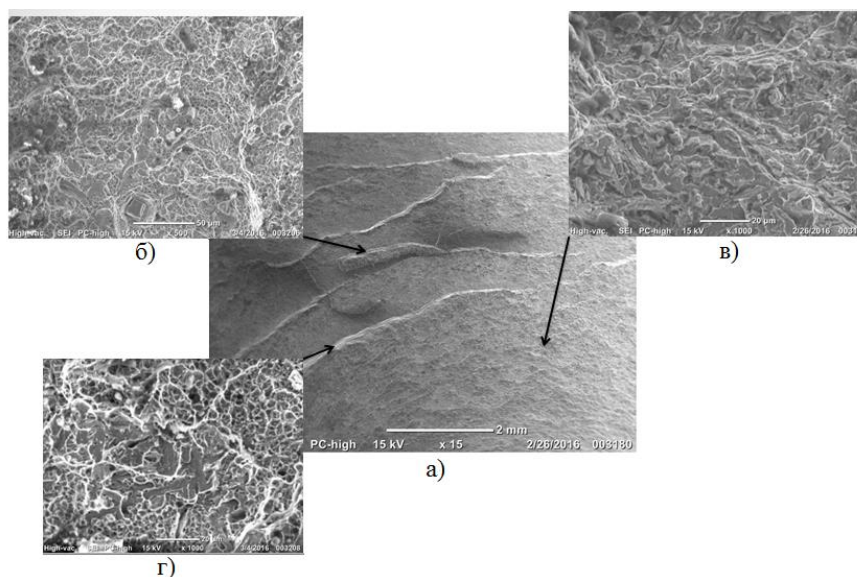


Рис. 2. Фрактографические признаки излома пуансона из стали 4Х4МВФС при температуре эксплуатации 350 °С: *а* – общий вид излома; *б* – переходная зона излома; *в* – общая поверхность излома; *г* – внутризеренное разрушение.

Отчетливо видны линии излома, расходящиеся от очага разрушения и фронта трещины на определенной стадии нагружения при температуре эксплуатации пуансона из стали 4Х4МВФС в интервале 350–380 °С. Поверхность разрушения представляет собой сочетание волокнистого и кристаллического изломов, переходящих из одного в другой, в зависимости от температуры перегрева пуансона при эксплуатации. Большая поверхность излома (70 %) представляет собой землистый излом (рис. 2, *в*). Землистый излом отличается округлой формой пор, обусловленных выходом газов из металла и наличием несплошностей в виде прожилок. При наличии землистого излома резко снижаются

прочностные характеристики и пластические свойства металла. Зона 3 (рис. 2, з) состоит из поверхности фасеток с ямочным рельефом. Ямки имеют неправильную форму, что объясняется напряженным состоянием. Глубина ямок (3–4) мкм характеризует меру способности материала к пластической деформации. Таким образом, разрушение в 3 зоне происходит по механизму квазискола, в изломе наблюдаются плоские участки квазискола с характерным строением, имеющим меньшую площадь и более развитый микрорельеф.

В работе проводился сравнительный анализ штамповой стали 4Х4МВФС, используемой в условиях производства для изготовления прессформ литья под давлением с ранее разработанной опытной сталью инструментального класса 70Х3Г2ФТР, ранее рекомендованной для изготовления штампов горячего деформирования [1]. Химический состав данной стали представлен в таблице 2.

Таблица 2

Плавочный химический состав стали 70Х3Г2ФТР по данным
эмиссионного спектрального анализа

C	Mn	Si	S	Cr	Ni	Cu	B	Al	V	Ti
0,67	1,92	0,59	0,010	2,92	0,09	0,08	0,0015	0,032	0,62	0,39

Литая структура стали 70Х3Г2ФТР характеризуется выраженным дендритным строением. Дендриты имеют значительную разветвленность и средний диаметр ветвей около 0,15–0,18 мкм, в свободном виде присутствуют обособленные включения карбидного типа, о чем свидетельствуют результаты микрорентгеноспектрального анализа (структура металлической основы смешанная, перлитно-карбидная, с участками мартенситной матрицы, твердость – 35–45 HRC).

Предварительно опытная сталь 70Х3Г2ФТР была подробно изучена при разных температурах, скоростях нагрева и охлаждения и времени выдержки в изотермических условиях, была построена термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита, позволившая определить оптимальные параметры и режимы термической обработки [2]. При отработке оптимальных параметров термического упрочнения опирались на графические зависимости влияния температуры и времени выдержки на характеристики стали [3].

На основе проведенных исследований определен упрочняющий вид термической обработки опытной стали ($T_3 = 1000$ °С, масло; $T_0 = 600$ °С), что позволило сравнить механические свойства применяемой в данное время и склонной к разрушению стали 4Х4МВФС и предлагаемой на замену экономнолегированной стали 70Х3Г2ФТР.

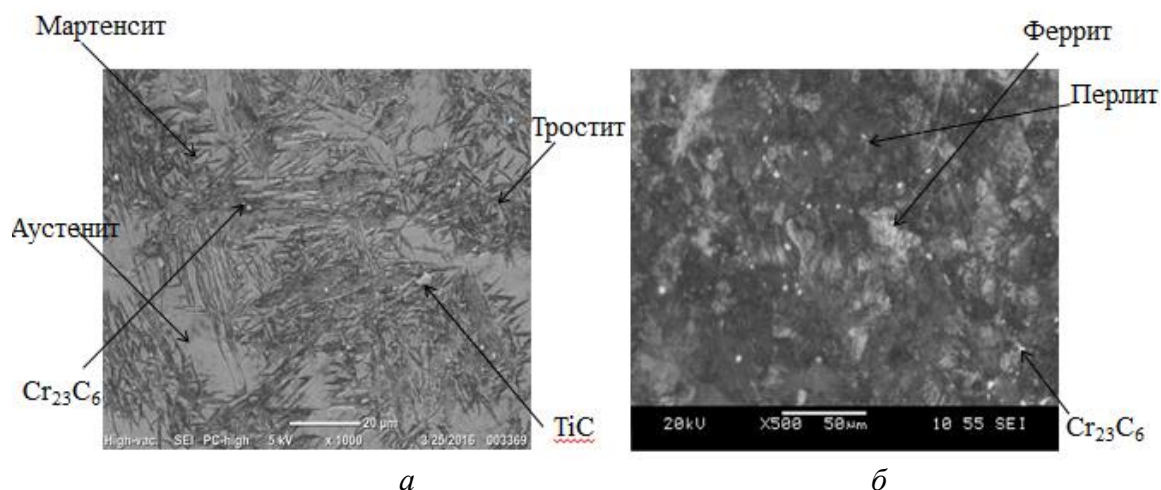


Рис. 3. Литая структура сталей 70X3Г2ФТР (а) и 4Х4МВФС (б): а – мартенсито-троостито-аустенитная структура (твердость 43–45 HRC, микротвердость карбидной фазы ~10500–11000 Н/мм²; металлической матрицы ~6500–7500 Н/мм²); б – феррито-перлитная структура (твердость 33–35 HRC, микротвердость карбидной фазы ~11000 Н/мм²; металлической матрицы 3500 Н/мм²)

Сравнительный анализ показывает, что при одинаковом соотношении твердости предлагаемая сталь превосходит традиционную по прочности, ударной вязкости и износостойкости. Преимущества по свойствам перед аналогом в некоторых случаях составляют 70 %.

На основе проведенных исследований определен упрочняющий режим термической обработки опытной стали ($T_3 = 1000$ °С, масло; $T_0 = 600$ °С, воздух), что позволило сравнить механические свойства применяемой в данное время и склонной к разрушению стали 4Х4МВФС и предлагаемой на замену экономнолегированной стали 70X3Г2ФТР.

Таблица 3

Механические свойства сталей

	4Х4МВФС	70X3Г2ФТР
Твердость, HRC	50	54
Предел прочности σ_B , МПа	1820	1590
Ударная вязкость, KCU, кДж/м ²	450	510
Износостойкость, Кас	2,34	2,75

Сравнительный анализ показывает, что при одинаковом соотношении твердости предлагаемая сталь превосходит традиционную по прочности, ударной вязкости и износостойкости. Преимущества по свойствам перед аналогом в некоторых случаях составляют 70 %. Опытная сталь отличается пониженным содержанием хрома и микролегирующим комплексом, отличным от стали 4Х4МВФС. Микролегирующий комплекс стали 70X3Г2ФТР (W–Ti–B) при содержании углерода 0,67 способствует формированию вязкой металлической основы, удерживающей дисперсные

карбидные включения, формирующиеся на стадии термического упрочнения, что обеспечивает высокие значения механических свойств, теплостойкости и эксплуатационной стойкости штампового инструмента, что позволяет рекомендовать ее к внедрению и замене традиционных штамповых сталей как более перспективную.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструментальная сталь для горячего деформирования: пат. № 2535148 Рос. Федерация. № С22С38/38; заявл. 09.01.2013; опубл.: 20.07.2014.
2. Ромашков Е. В., Крылова С. Е. Разработка составов и способов термической обработки инструментальных сталей с микролегирующим комплексом, предназначенных для тяжело нагруженных изделий машиностроения // Издательство ТГУ. Тольятти. 2016. С.7–13.
3. Romashkov E. V., Romashkov E. V., Kuznetsov A. V. Peculiarities of Thermal Hardening of Experimental Sparingly-Alloy Tool-Class Steels // Materies Engineering and Technologies for Production and Processing II. Materials Science Forum Vol. 870. 2016. P. 392–396.