

Евгений Владимирович Ромашков^{1*}, Светлана Евгеньевна Крылова¹, Иван Александрович Курноскин¹

¹Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

**evgeniyromashkov@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА ШТАМПОВОЙ СТАЛИ 70X3Г2ФТР(М)

Повышение работоспособности тяжело нагруженного металлургического инструмента является актуальной производственной и научно-исследовательской проблемой.

Известно, что одним из производительных методов получения сложных тонкостенных деталей из алюминиевых сплавов является способ литья под давлением (ЛПД). Основным параметром, определяющим надежную эксплуатацию металлургического оборудования, в том числе матриц и пуансонов машин ЛПД, является работоспособность в условиях циклического нагружения и теплового воздействия, которая напрямую зависит от химического состава материала и способа термического упрочнения.

В работе приведены результаты исследований, направленных на определение теплофизических характеристик, так как исследуемый инструмент в виде пуансона машины ЛПД работает в условиях химико-термического воздействия.

Ключевые слова: штамповая сталь, микролегирующий комплекс, термическое упрочнение, пресс-форма литья под давлением, температурное влияние.

Evgeniy V. Romashkov*, Svetlana E. Krylova, Ivan A. Kurnoskin

Orenburg State University, Orenburg, Russia

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE EFFECTS ON THE PROPERTIES OF STAMPED STEEL 70X3G2FTR(M)

Improving the performance of heavy-loaded metallurgical tools is an urgent production and research problem.

It is known that one of the productive methods of obtaining complex thin-walled parts from aluminum alloys is the method of injection molding (LPD). The main parameter determining the reliable operation of metallurgical equipment, including matrices and punches of LPD machines, is operability under cyclic loading and thermal exposure, which directly depends on the chemical composition of the material and the method of thermal hardening.

The paper presents the results of studies aimed at determining the thermophysical characteristics, since the instrument under study in the form of a punch of an LPD machine operates under conditions of chemical and thermal exposure.

Keywords: die steel, micro-alloying complex, thermal hardening, injection molding mold, temperature influence.

Ранее в работах автора проанализированы и выбраны режимы термической обработки для опытной модифицированной стали инструментального класса 70X3Г2ФТР(м). Результаты проведенных исследований позволили рекомендовать следующий режим термической обработки для пуансона машины литья под давлением из стали 70X3Г2ФТР(м): отжиг II рода при температуре 950 °С, выдержка 2,5 часа, охлаждение с печью; закалка с 1000 °С, выдержка 2 часа, охлаждение в масле, отпуск при 600 °С, выдержка 3 часа, охлаждение на воздухе [1-3].

Как известно, разгаростойкость определяется сопротивлением стали образованию поверхностных трещин при многократном нагреве и охлаждении с учетом определенной твердости материала. Получены сравнительные данные разгаростойкости для термообработанных сталей 4Х5МФС и 70Х3Г2ФТР(м) в интервале температур от 350 °С до 450 °С (рисунок 1).

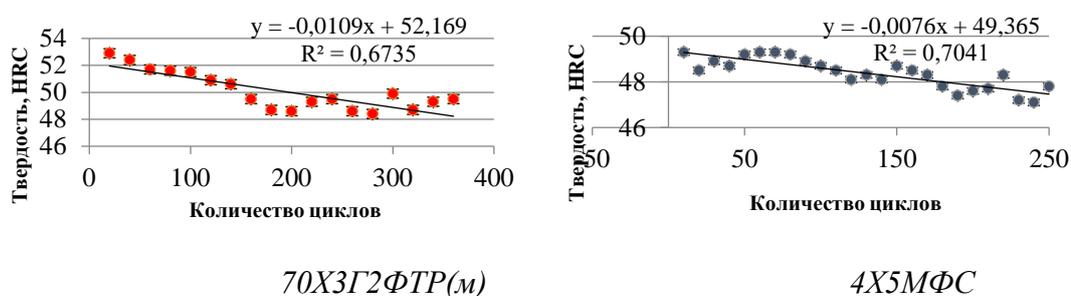


Рис. 1. Графики зависимости твердости от количества циклов разгара

Так, в стали 4Х5МФС при циклическом тепловом воздействии при 400 °С на стадии 250 циклов происходит образование усталостной поверхностной трещины (рисунок 2), твердость при этом составляет 47-49 HRC, в стали 70Х3Г2ФТР(м) образуется сетка разгара при температуре 450 °С после 350 циклов испытания при аналогичных значениях твердости, что согласуется с результатами испытаний на циклическую трещиностойкость данных сталей.

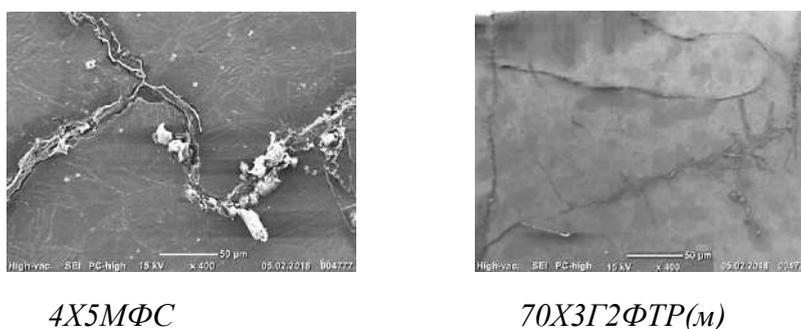


Рис. 2. Образование поверхностных трещин при испытании на разгаростойкость

Из анализа температуропроводности (рисунок 3) следует, что данные от двух образцов (рисунок 3, №3 и №4) в исходном не термообработанном состоянии практически полностью совпадают, разработанная модифицированная сталь в «сыром» состоянии обладает более высокой температуропроводностью в пределах 6 – 6,5 мм²/с, тогда как данные от двух образцов, после полной термической обработки (рисунок 3, №1 и №2) несколько отличаются и соответствуют значениям 4 – 4,5 мм²/с.

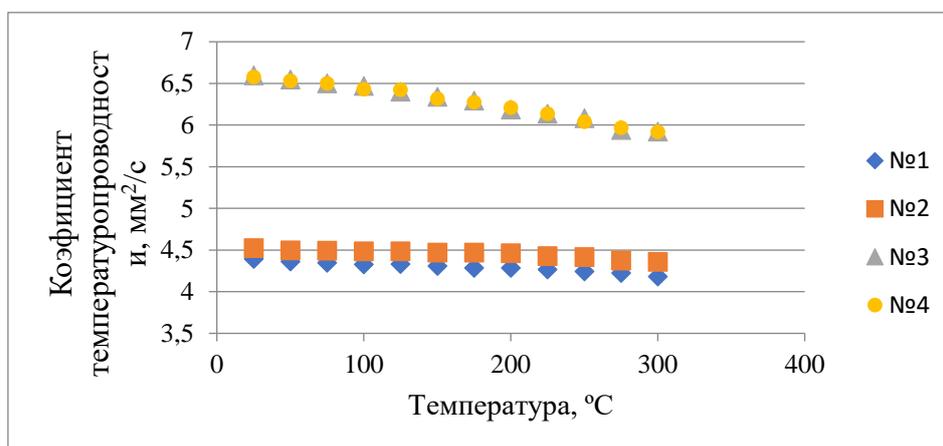
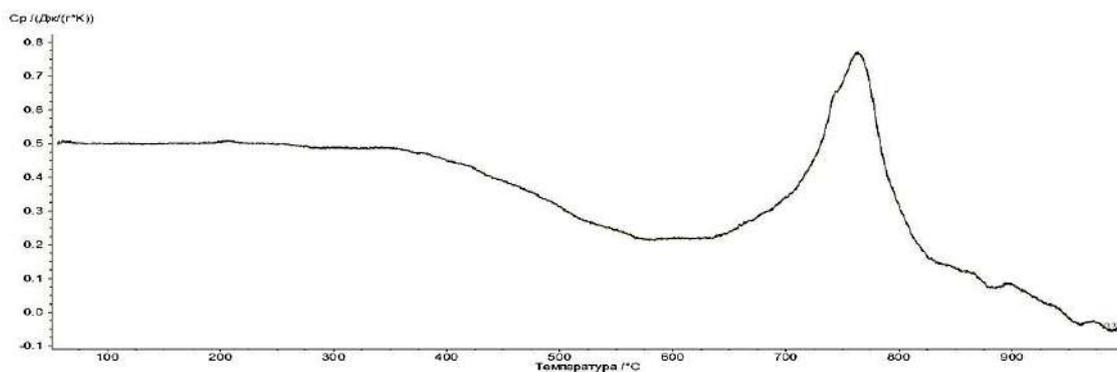


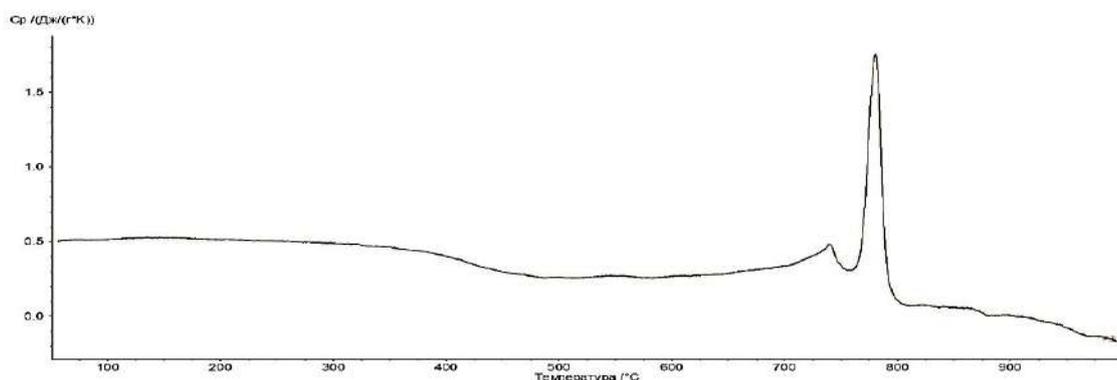
Рис.3. Зависимость температуропроводности от температуры

Так как основным механизмом температуропроводности является электронная проводимость, с повышением температуры испытания интенсифицируются колебания атомов и рассеяние электронов, что в свою очередь вызывает закономерное уменьшение температуропроводности, особенно заметное по образцам в исходном состоянии - с ростом температуры испытания температуропроводность интенсивно снижается. Образцы после ТО при испытаниях более стабильны до 300 °С: повышение температуры приводит к более медленному снижению температуропроводности. Заметно, что образцы после ТО, в принципе обладают более низкой температуропроводностью, по сравнению с исходными материалами, что объясняется воздействием ТО, усложняющей атомно-кристаллическое строение и повышающей дефектность и искажение кристаллической структуры, что в свою очередь, препятствует движению электронов и способствует их рассеянию [4].

Графики изменения теплоёмкости представлены на рисунке 4. Из графиков видно, что до термической обработки сталь 70ХЗГ2ФТР(м) сохраняет стабильные значения теплоёмкости до температур 350-400 °С, рисунок 4 а, тогда как после упрочняющей термической обработки ситуация меняется в пользу более высокого температурного интервала устойчивости значений теплоёмкости. Стабильность значений сохраняется вплоть до температуры 650-750 °С, рисунок 4 б, что предполагает возможность стабильной работы данной стали после комплекса мероприятий по термическому упрочнению без образования горячих трещин в указанном диапазоне температур.



а



б

Рис. 4. Результаты анализа теплоёмкости стали 70X3Г2ФТР(м): в исходном (а), после ТО (б) состоянии

На обеих графических зависимостях, представленных на рисунке 4 отмечается определенный эндотермический эффект в интервале температур 750 – 780 °С. Эндотермические эффекты вероятнее всего связаны с полиморфными превращениями железа (ОЦК в ГЦК). Величина эффекта, связана с объёмами таких превращений, так как в разработанной стали в исходном состоянии без термической обработки свободного феррита больше, чем в образце после термического упрочнения.

Полученные значения теплофизических характеристик хорошо согласуются с литературными данными, полученными для легированных сталей инструментального класса [5].

Исследование проводилось за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00059, <https://rscf.ru/project/22-79-00059/>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ромашков Е.В. Влияние термического упрочнения на поведение микролегированной стали в условиях циклического нагружения и теплового изнашивания Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. - 2021. – 21 с.

2. Ромашков, Е.В. Особенности термической обработки новой стали для изготовления штампов горячего деформирования / С.Е. Крылова, Е.В. Ромашков // Черные металлы №1, - 2021. - С. 54-60.
3. Пат. 2535148 РФ. Инструментальная сталь для горячего деформирования / С. В. Каманцев, С. О. Соколов, С. Е. Крылова, В. И. Грызунов, Е. Ю. Приймак и др.; заявл. 09.01.2013 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34
4. Кругляков А.А., Влияние легирующих элементов на упрочнение штамповых сталей в аустенитном состоянии при высокотемпературной пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. - 2019. - № 3. - С. 28-32.
5. Головин И.С. Неупругость, внутреннее трение и механическая спектроскопия металлических материалов. М.: Изд. Дом НИТУ "МИСиС", 2020. - 284 с.

REFERENCES

1. Romashkov E.V. Influence of thermal hardening on the behavior of microalloyed steel under conditions of cyclic loading and thermal wear Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. - 2021. – 21 p.
2. Romashkov, E.V. Features of heat treatment of new steel for the manufacture of hot deformation stamps / S.E. Krylova, E.V. Romashkov // Ferrous Metals No. 1, - 2021. - pp. 54-60.
3. Pat. 2535148 RF. Tool steel for hot deformation / S. V. Kamantsev, S. O. Sokolov, S. E. Krylova, V. I. Gryzunov, E. Yu. Priymak, etc.; application 09.01.2013; publ. 10.12.2014, Bul. No. 34
4. Kruglyakov A.A., The effect of alloying elements on the hardening of die steels in the austenitic state under high-temperature plastic deformation // Deformation and destruction of materials. - 2019. - No. 3. - pp. 28-32.
5. Golovin I.S. Inelasticity, internal friction and mechanical spectroscopy of metallic materials. Moscow: Ed. House of NUST MISIS, 2020. - 284 p.