

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-11-37-42>

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

*Якубович Е.А.*

**Ключевые слова:** штамповые стали, стойкость инструмента, термическая обработка, штамповка выдавливанием, кривошипный пресс, квазианалоговые испытания, опытно-промышленная проверка.

**Аннотация.** В статье выполнен анализ зависимости стойкости инструмента при штамповке выдавливанием от выбора температур закалки и отпуска. Обоснована целесообразность повышения температуры закалки для исследованных сталей при соответствующей корректировке температуры отпуска. Оптимальной температурой закалки штампов для горячего выдавливания является температура, при которой получается зерно 7 – 8 балла без падения ударной вязкости. На основании результатов сравнительных опытно-промышленных испытаний матриц из различных сталей для горячего выдавливания можно сделать вывод, что комплексно легированные стали обладают более высокой работоспособностью, чем стали типа 3Х2В8Ф и 5ХНВ.

## ANALYSIS OF THE HEAT TREATMENT MODES INFLUENCE ON THE LIFE OF THE TOOL FOR HOT FORMING

*Yakubovich E.A.*

**Keywords:** die steels, tool life, heat treatment, extrusion stamping, crank press, quasi-analogue tests, pilot testing.

**Abstract.** The article analyzes the dependence of tool life during stamping by extrusion on the choice of hardening and tempering temperatures. The expediency of increasing the hardening temperature for the investigated steels with a corresponding adjustment of the tempering temperature has been substantiated. The optimum temperature for quenching dies for hot extrusion is the temperature at which a grain of 7 - 8 points is obtained without a drop in impact strength. Based on the results of comparative industrial tests of matrices made of various steels for hot extrusion, it can be concluded that complex alloyed steels have a higher performance than steels of the 3X2V8F and 5XNV types.

Проблема повышения стойкости инструмента для горячей штамповки характеризуется высоким уровнем сложности и глубокой спецификой, порождаемой, в частности, крайне тяжелыми условиями эксплуатации, циклическим температурно-силовым воздействием (ЦТСВ), в результате чего развиваются процессы термической усталости, приводящие к появлению и критическому развитию разгарных трещин [1-3]. Отмеченное в полной мере относится к комплексу вопросов, связанных с исследованием проблем стойкости инструментальной оснастки для штамповки клапанов выдавливанием на кривошипных прессах [4].

В работах [5-8] получен ряд ценных в научном плане и для практики результатов в части оценки технологических факторов и режимов термообработки на свойства штамповых сталей и возможности повышения стойкости инструмента в конкретных условиях, совокупность которых можно охарактеризовать как существенное развитие технологических возможностей штампового производства. Они отличаются технологичностью, доступностью реализации, заметным влиянием на уровень свойств, определяющих в своей совокупности долговечность штампов.

Однако далеко не исчерпанными являются обоснование, разработка и реализация принципов оптимизации схем и параметров термической обработки инструментальных объектов, направленных на их повышение их долговечности [9,10]. Из числа перспективных направлений укажем на возможности подхода, сочетающего надежные методы лабораторной оценки работоспособности сталей для горячештамповочного инструмента и выбор оптимальных режимов предварительной термообработки, позволяющих достичь устойчивой корреляции с эксплуатационной стойкостью штампов, подтвержденной натурными испытаниями. В настоящей работе рассматриваются некоторые результаты исследований в указанном направлении.

В СамГТУ под руководством Б.Ф. Трахтенберга разработан комплекс квазианалоговых методов испытаний штамповых сталей и установок квазианалогового класса различного назначения, использование которых дает возможность в лабораторных условиях воспроизвести основные параметры циклического температурно-силового нагружения, близкие к эксплуатационным режимам и обеспечивающие достаточно высокую достоверность получаемых данных [11].

С целью определения оптимальных режимов термической обработки исследовали влияние температуры закалки (с нагревом в хлористо-бариевых ваннах) и температуре отпуска (600-620)°С на величину зерна  $S_{\mu}$ , ударную вязкость  $KCU$ , теплостойкость и разгаростойкость штамповых сталей 3Х2В8Ф, 5Х4СВ4МФ и 4Х3ВМФ.

По результатам лабораторных испытаний определяли ударную вязкость и теплостойкость по стандартным методикам и теплоустойчивость и разгаростойкость по результатам квазианалоговых испытаний. За критерий теплоустойчивости принят горячий послециклический предел прочности  $\sigma_{bT}^*$ , который определяли в процессе разрывных испытаний при 650°С образцов после циклических температурно-силовых тренировок на установках [11]. Разгаростойкость  $N_{TMU}$  оценивали по числу циклов до полного разрушения образца в условиях ЦТСВ.

Оценку результатов лабораторных испытаний осуществляли на основе определения стойкости матриц скрепленной предварительно напряженной конструкции в эксплуатационных условиях при штамповке клапанов из сталей 40Х, 4Х9С2 методом выдавливания на кривошипных прессах моделей К863Б и КА864.

На рисунке 1 показаны основные зависимости, демонстрирующие влияние температуры закалки на свойства сталей по результатам квазианалоговых испытаний. Для стали 4Х3ВМФ размер зерна монотонно увеличивается от балла 12 до балла 4 при увеличении температуры нагрева под закалку с 960°С до 1300°С. В этих условиях для сталей 3Х2И8Ф и 5Х4С4МФ зерно балла 12 сохраняется до 1040 °С. Более высокая температуры закалки способствует увеличению размера зерна, причем для стали 3Х2В8Ф имеет более мелкое зерно при всех температурах.

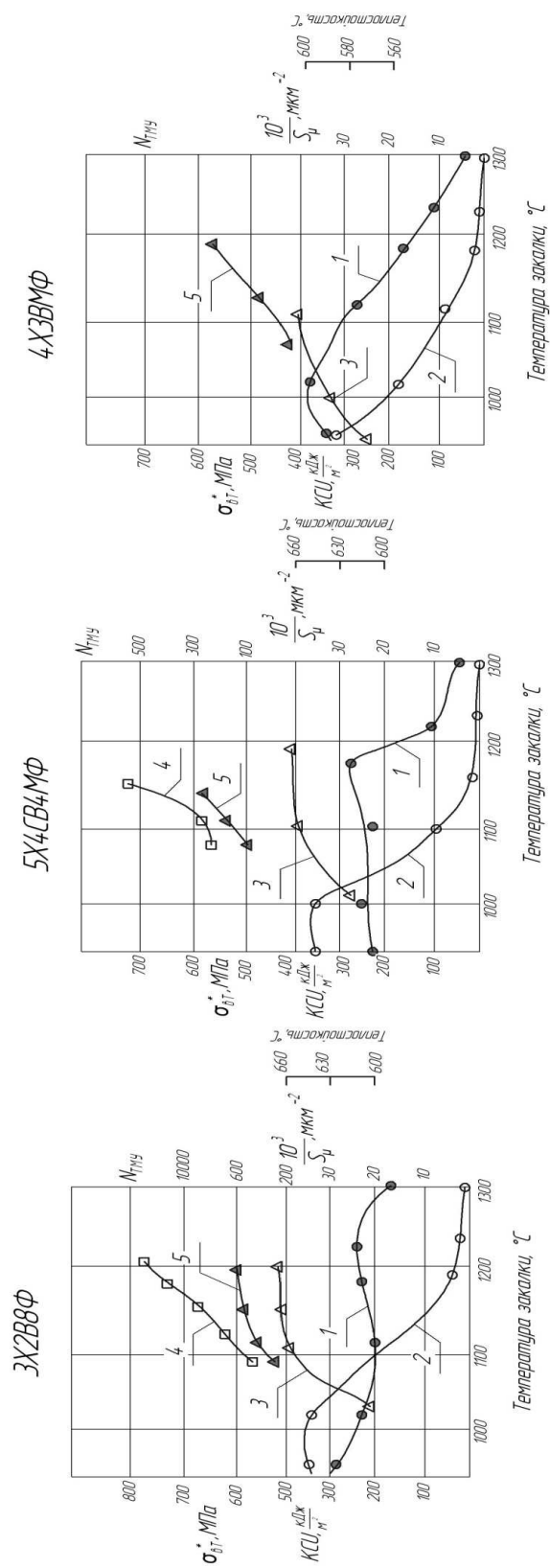


Рис. 1. Влияние температуры закалки на служебные характеристики штамповых сталей для инструмента при горячем выдавливании клапанов на КГПП:

- 1 – ударная вязкость, KSU; 2 – размер зерна аустенита,  $S_{\mu}$ ; 3 – теплостойкость, ТС;
- 4 – разгаростойкость,  $N_{IKV}$ ; 5 – горячий послециклический предел прочности (теплоустойчивость),  $\sigma_{0.2}^*$

Зависимость ударной вязкости от температуры закалки для сталей 5Х4СВ4МФ и 4Х3ВМФ является экстремальной. Значимое уменьшение ударной вязкости для этих сталей наблюдается при нагреве под закалку выше  $(1170-1240)^{\circ}\text{C}$ . Для экономнолегированной стали 4Х3ВМФ снижение ударной вязкости с ростом температуры закалки происходит практически во всем исследованном диапазоне.

Из приведенных данных следует, что для получения максимальных значений ударной вязкости следует повышать температуру закалки для стали 5Х4СВ4МФ до  $1170^{\circ}\text{C}$ , для стали 3Х2В8Ф до  $1220^{\circ}\text{C}$ . Для стали 4Х3ВМФ требуется температура закалки  $1050^{\circ}\text{C}$ .

Необходимость повышения температуры закалки для всех сталей следует из анализа характера изменения теплостойкости  $T_C$  и разгаростойкости  $N_{TMV}$  в зависимости от температуры закалки (рис. 1). Оптимальные температуры закалки по этим данным для сталей 5Х4СВ4МФ и 3Х2В8Ф практически совпадают со значениями температуры закалки, определенными по максимуму ударной вязкости. Для стали 4Х3ВМФ оптимальная температура закалки  $(1160-1180)^{\circ}\text{C}$ , определенная по результатам квазианалоговых испытаний на термомеханическую усталость, значительно выше, чем значение, следующее из зависимости ударной вязкости от температуры закалки.

Важное значение для стойкости инструмента имеет правильный выбор температуры отпуска. Традиционно ее назначают в зависимости от норм твердости, регламентированных для прессового оборудования различного типа. Обычно для обеспечения нормированной твердости с повышением температуры закалки предлагается увеличивать и температуру отпуска. Однако, для большинства сталей можно указать оптимальный интервал температур отпуска, не зависящий от температуры закалки, по крайней мере в области оптимальных значений. Соответственно для целей настоящего исследования оптимальными температурами отпуска как для лабораторных, так и для опытно-промышленных натурных испытаний выбраны  $(580-600)^{\circ}\text{C}$  для стали 4Х3ВМФ,  $(610-630)^{\circ}\text{C}$  для стали 5Х4СВ4МФ и  $(620-640)^{\circ}\text{C}$  для стали 3Х2В8Ф.

Для оценки обоснованности основных выводов выполнили двухэтапную сравнительную опытно-промышленную проверку матриц из разных сталей для горячего выдавливания клапанов на КГШП: на первом этапе термическую обработку штампов осуществляли по режимам, рекомендованным [12], а на втором этапе с варьированием температур закалки и отпуска согласно данным на рис. 1. Результаты обеих серий испытаний показывают, что штампы из сталей 5Х4СВ4МФ и 4Х3ВМФ имеют более высокую работоспособность, чем штампы из стали 3Х2В8Ф, причем стойкость растет при увеличении температуры закалки, что свидетельствует о целесообразности назначения повышенных температур при соответствующей корректировке температуры отпуска. Максимальная стойкость (превышающая стойкость штампов из стали 3Х2В8Ф после закалки с обычных температур в 1,7-1,8 раз) получена для матриц из стали 5Х4СВ4МФ, упрочненных по режиму: закалка с  $1200^{\circ}\text{C}$  в масле, отпуск при  $620^{\circ}\text{C}$  на воздухе. Для штампов из стали 4Х3ВМФ при

закалке с температуры (1150-1180)°С и отпуске при (600-640)°С повышение стойкости составляет 1,3-1,4 раза.

Представленные результаты свидетельствуют об эффективности развиваемого подхода к определению оптимальных режимов термообработки штамповых конструкций для горячего выдавливания на КГШП на основе сочетания данных квазианалоговых исследований свойств применяемых сталей и опытно-промышленной апробации назначаемых на их основе режимов термообработки.

### Список литературы

1. Охрименко Я.М. Штампы для горячей обработки металлов и их эксплуатация / Я.М. Охрименко, Л.И. Антоненко, Л.И. Миронов. – М.: Машиностроение, 1971. – 50 с.
2. Штампы для горячего деформирования металлов / под общ. ред. М.А. Тылкина. – М.: Высшая школа, 1977. – 496 с.
3. Довнар С.А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки. – М.: Машиностроение, 1975. – 255с.
4. Трахтенберг Б.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения. Куйбышев, Кн.изд-во, 1964. – 277с.
5. Северденко В.П. Тепловая стойкость штампов горячей штамповки / В.П. Северденко, А.П. Томило // Пластичность и обработка металлов давлением: сб. статей. – Минск, 1966. – С. 173-178.
6. Бельский Е.И. Повышение стойкости штампов при объемной штамповке / Е.И.Бельский, Р.И. Томилин. – Минск, Госиздат БССР, 1962. – 197с.
7. Фатеев В.И. Технологические основы повышения стойкости полых пуансонов для горячего деформирования осесимметричных заготовок: автореф. дисс. ...докт. техн. наук. (05.03.05) / Фатеев Вячеслав Игоревич; ТулГТУ. – Тула, 2009. – 40 с.
8. Кисурина Н.А. Повышение стойкости штампового инструмента для горячей обработки металлов давлением: автореф. дисс. ...канд. техн. наук. (05.03.05) / Кисурина Наталья Александровна; ТулГТУ. – Тула, 2001. – 26с.
9. Дробязко И.С. Вопросы оптимизации режимов термической обработки штамповых сталей / И.С. Дробязко, А.И. Иванов, А.И. Климашина // Стали для штампов и пресс-форм и их термическая обработка: сб. статей. – М.: Моск. дом науч.-техн. пропаганды, 1975. – С. 36-41.
10. Ваенский В.Н. Оптимизация технологии термической обработки и опыт внедрения штамповых сталей новых марок / В.Н. Ваенский, И.С. Дробязко, А.И. Иванов и др. // Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей: сб. статей. – М.: Metallurgia, 1970. – С. 114-120.
11. Векслин И.И. Квазианалоговые испытания штамповых сталей / И.И. Векслин, М.С. Кенис, А.И. Иванов и др. // Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей: сб. статей. – М.: Metallurgia, 1970. – С. 98-103.

12. Термическая обработка в машиностроении. Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

### References

1. Okhrimenko Ya.M. Stamps for hot metal working and their operation / Ya.M. Okhrimenko, L.I. Antonenko, L.I. Mironov. – M.: Mechanical Engineering, 1971. – 50 p.
2. Stamps for hot deformation of metals / under total. ed. M.A. Tylkina. – M.: Higher school, 1977. – 496 p.
3. Dovnar S.A. Thermomechanics of hardening and fracture of die forging. – M.: Mechanical engineering, 1975. – 255 p.
4. Trakhtenberg B.F. Durability of stamps and ways to improve it. Kuibyshev, Book Publishing House, 1964. – 277 p.
5. Severdenko V.P. Thermal resistance of hot stamping dies / V.P. Severdenko, A.P. Tomilo // Plasticity and metal pressure processing: collection of articles. - Minsk, 1966. – P.173-178.
6. Belsky E.I. Increasing the durability of dies in forging / E.I. Belsky, R.I. Tomilin. – Minsk, State Publishing House of the BSSR, 1962. – 197 p.
7. Fateev V.I. Technological bases for increasing the durability of hollow punches for hot deformation of axisymmetric workpieces: extended abstract diss. ... doct. tech. sc. (05.03.05) / Fateev Vyacheslav Igorevich; TulSTU. – Tula, 2009. – 40 p.
8. Kisurina N.A. Increasing the durability of stamping tools for hot working of metals by pressure: extended abstract diss. ... cand. tech. sc. (05.03.05) / Kisurina Natalia Aleksandrovna; TulSTU. – Tula, 2001. – 26 p.
9. Drobyazko I.S. Drobyazko I.S., Ivanov A.I., Klimashina A.I. Issues of optimization of heat treatment modes for die steels // Steels for stamps and molds and their heat treatment: collection of articles. – M.: Mosk. house of scientific and technical propaganda, 1975. – P. 36-41.
10. Vaensky V.N. Optimization of heat treatment technology and the experience of introducing stamped steels of new grades / V.N. Vaensky, I.S. Drobyazko, A.I. Ivanov et al. // Production and research of high-speed and stamped steels: collection of articles. – M.: Metallurgy, 1970. – P. 114-120.
11. Vekslin I.I. Quasi-analogue tests of stamped steels / I.I. Vekslin, M.S. Kenis, A.I. Ivanov et al. // Production and research of high-speed and stamped steels: collection of articles. – M.: Metallurgy, 1970. – P. 98-103.
12. Heat treatment in mechanical engineering. Handbook / ed. Yu.M. Lakhtin, A.G. Rakhshadt. – M.: Mechanical Engineering, 1980. – 783 p.

**Якубович Ефим Абрамович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», Самарский государственный технический университет, г.Самара, Россия, eyakubovich@mail.ru

**Yakubovich Efim Abramovich** – candidate of technical science, professor, Department “Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials”, Samara state technical university, Samara, Russia, eyakubovich@mail.ru

Received 26.10.2020