

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-54-58>

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КВАЗИАНАЛОГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Якубович Е.А.

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Ключевые слова: штамповые стали, горячая штамповка, стойкость инструмента, свойства стали, квазианалоговые испытания, циклическое нагружение, температурно-силовое воздействие, термическая усталость, термомеханическая усталость, опытно-промышленная проверка.

Аннотация. В статье выполнен анализ традиционных методов оценки изменения механических свойств, развития усталостных процессов в штамповых материалах и стойкости штампов горячего деформирования. Сделан вывод о недостаточной корреляции получаемых при этом данных с показателями эксплуатационной стойкости реального инструмента. Обосновано применение для оценки свойств штамповых сталей квазианалоговых методов испытаний, которые дают возможность воспроизвести основные параметры температурно-силового нагружения, близкие к эксплуатационным режимам. Приведено описание вариантов квазианалоговых установок, предназначенных для исследований разгаростойкости и термомеханической усталости штамповых сталей. Сравнение полученных оценок показателей термической и термомеханической усталости ряда сталей и результатов натурных испытаний инструмента из этих сталей подтверждает вывод об эффективности методологии квазианалоговых испытаний для оценки свойств штамповых сталей.

ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF DIE STEELS BASED ON THE RESULTS OF QUASIANALOGUE TESTS

Yakubovich E.A.

Samara state technical university, Samara, Russia

Keywords: die steels, hot stamping, tool life, steel properties, quasi-analog tests, cyclic loading, temperature-force effects, thermal fatigue, thermomechanical fatigue, pilot testing.

Abstract. The article analyzes traditional methods for assessing changes in mechanical properties, the development of fatigue processes in stamping materials and the durability of hot-forming stamps. It is concluded that the obtained data do not correlate well with the operational durability of a real tool. The use of quasi-analog test methods for assessing the properties of stamping steels is justified, which make it possible to reproduce the main parameters of temperature-force loading close to operating conditions. The description of variants of quasi-analogous installations intended for research of heat resistance and thermomechanical fatigue of stamp steels is given. A comparison of the obtained estimates of the thermal and thermomechanical fatigue indices for a number of steels and the results of full-scale tests of tools made from these steels confirms the conclusion about the effectiveness of the quasi-analog testing methodology for assessing the properties of die steels.

Высокий уровень сложности и глубокая специфика, порождаемая крайне тяжелыми условиями эксплуатации, циклическим температурно-силовым воздействием (ЦТСВ) делают проблему повышения стойкости инструмента для горячей штамповки существенно многоплановой [1-3]. При этом необходимым элементом комплекса исследований, которые кладутся в

основу технологических решений по обеспечению стойкости инструмента в конкретных условиях, является оценка структурной и механической устойчивости, комплекса свойств инструментальных материалов.

Ряд ценных в научном и прикладном плане результатов в части оценки технологических факторов и режимов термообработки на свойства штамповых сталей и повышения стойкости инструмента в конкретных условиях, представлен в работах [4-6]. Показано, что на стойкость тяжело нагруженных штампов горячего деформирования и разрушение контактных объемов штампов оказывают структурно-фазовые изменения и процессы упрочнения-разупрочнения, обусловленные действием ЦТСВ.

Однако традиционно используемая методика оценки структурной и механической устойчивости штамповых материалов по показателям теплостойкости, прочности, пластичности, разгаростойкости недостаточно информативна. В результате получаемые данные не всегда коррелируют с показателями реальной стойкости инструмента. Это объясняется невозможностью полно учесть и смоделировать при существующих методах испытаний на образцах особенности температурно-силовых параметров нагружения. Не являются приемлемой альтернативой и натурные испытания штамповых материалов для объективной оценки их работоспособности. Они весьма трудоемки и дороги, что делает невозможным их использования в систематических масштабных исследованиях.

В связи с изложенным представляется обоснованным и перспективным использование квазианалоговых методов испытаний, в основу которых положен принцип эквивалентности реального объекта и модели относительно получаемых результатов [7, 8]. Это дает возможность воспроизвести основные параметры ЦТСВ, близкие к эксплуатационным режимам и обеспечить достаточно высокую достоверность получаемых данных. Фактически этот подход характеризуется сочетанием надежных методов лабораторной оценки работоспособности сталей для горячештамповочного инструмента и устойчивой корреляцией с эксплуатационной стойкостью штампов, подтвержденной натурными испытаниями.

На основе глубокой проработки основополагающих принципов квазианалогового моделирования в СамГТУ под руководством проф. Б.Ф. Трахтенберга создан комплекс квазианалоговых методов испытаний штамповых сталей и установок квазианалогового класса различного назначения, использование которых дает возможность получить многоплановую научную информацию.

Варианты установок типа ТКА (теплоконтактная автоматическая) предназначены для исследования разгаростойкости в условиях одновременного воздействия температур и внешнего усилия и позволяют воспроизводить на образцах распределение температур по сечению, характерное для реальных условий штамповки. Это достигается нагревом исследуемого участка поверхности образца теплообменом от нагревателя, моделирующего нагретую заготовку. Цикличность теплового воздействия

обеспечивается путем регламентированного времени контакта нагревателя с образцом и периодического спрейного охлаждения исследуемого участка поверхности. Испытания выполняют при постоянном приложении внешней изгибающей нагрузки или циклическом нагружении, действующим в любой период температурного воздействия.

Принципиальным моментом в реализации квазианалоговых методов исследования термомеханической усталости (ТМУ) сталей штампового назначения имеют вопросы обоснованного выбора количественных критериев для перехода от модели к натуре. В качестве критериев сопротивления материала термической (ТУ) и термомеханической усталости (ТМУ) выбраны:

- число циклов до возникновения первой трещины без внешнего механического нагружения;
- то же при варьируемом внешнем нагружении;
- глубина развивающейся единичной трещины;
- число циклов до разрушения образца.

Сравнение результатов по сопротивлению ТУ или ТМУ нескольких штамповых сталей показало, что наилучшими показателями при всех уровнях напряжений обладает сталь 5Х4СВ4МФ. Более стойкой, чем широко известная сталь 3Х2В8Ф, является сталь 4Х3НВМФ. Указанные данные хорошо согласуются с результатами натуральных испытаний инструмента из этих сталей при штамповке клапанов выдавливанием на КГШП.

Для моделирования температурно-силового состояния одного слоя штампа создана установка квазианалогового класса УТМ (универсальная термомеханическая). В ней трубчатый образец, периодически нагреваемый прямым пропусканием тока, одновременно подвергается циклическому механическому нагружению с помощью рычажно-грузовой системы.

В качестве критериев сопротивляемости сталей ТМУ приняты:

- число циклов до разрушения;
- послециклические характеристики прочности и пластичности;
- «горячий» послециклический предел прочности.

Число циклов до разрушения характеризует суммарную сопротивляемость материала ТМУ и зависит от резерва прочности и пластичности в условиях ЦТСВ. Необходимо учитывать также не только наличие дефектов, таких как поры, трещины, но и скорость их развития.

Сопоставление данных о долговечности образцов с поверхностными дефектами, характеризующими реальное состояние штампов в процессе эксплуатации, показывает, что наибольшим сопротивлением ТМУ обладает сталь 5Х4СВ4МФ, в то время как сталь 3Х2В8Ф в сопоставимых условиях имеет минимальную долговечность.

Сравнивая критерии теплостойкости и горячий послециклический предел прочности для оценки теплоустойчивости материалов горячих штампов, следует указать на то, что второй критерий полнее отражает

структурную и механическую стабильность материала в процессе эксплуатации, т.к. учитывает разупрочняемость материала в процессе ЦТСВ.

Для исследования износостойкости штамповых сталей и сопротивления малым пластическим деформациям разработана специальная установка квазианалогового класса, позволяющая моделировать условия нагружения холодных штамповых конструкций.

В качестве моделей применяются двухслойные цилиндрические штампы, в которых внутренние вставки-образцы запрессованы в обойму с различными натягами. Нагружение образцов производится путем многократного продавливания через очко калиброванных шариков. За критерий износа приняты потеря размера по диаметру очка и потерю массы образца за установленное число циклов нагружения. При испытаниях сталей У8 и ШХ15 с различной исходной твердостью установлена зависимость износостойкости исследуемого материала от величины действующих при нагружении кольцевых напряжений. Минимальный износ достигается при некотором оптимальном для каждой стали уровне сжимающих напряжений. Этот вывод подтверждается результатами промышленных испытаний двухсторонних трехслойных матриц для холодной высадки заклепок. При использовании вставок из стали Х12М в этом случае работоспособность инструмента существенно выше стойкости скрепленных вставок, в которых натяг обеспечивает лишь повышенную прочность конструкции.

Представленные результаты свидетельствуют об эффективности методов оценки свойств и прогнозирования работоспособности штамповых материалов на основе данных квазианалоговых исследований свойств применяемых сталей. По сравнению с традиционными методами оценки работоспособности этих сплавов по характеристикам стандартных и специальных испытаний представленные результаты обладают большей достоверностью. Дальнейшее расширение развиваемого подхода связано с выявлением критериев оценки работоспособности материалов, предназначенных для установления малоизученных закономерностей износа штампового инструмента. Определяющее значение для количественной оценки показателей надежности штампового инструмента приобретают исследования, направленные на изучение кинетики распространения трещин в условиях эксплуатации штампов горячего деформирования.

Список литературы

1. Штампы для горячего деформирования металлов / под общ. ред. М.А. Тылкина. – М.: Высшая школа, 1977. – 496 с.
2. Довнар С.А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки. – М.: Машиностроение, 1975. – 255 с.
3. Трахтенберг Б.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1964. – 277 с.
4. Кисурина Н.А. Повышение стойкости штампового инструмента для горячей обработки металлов давлением: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. – Тула: ТулГТУ, 2001. – 26 с.

5. Якубович Е.А. Анализ влияния термической обработки на стойкость инструмента для горячей штамповки // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. – 2020. – № 11. – С. 37-42.
6. Березин Д.Т. Исследование физико-механических свойств штамповых сталей в условиях термической усталости // *Инновационная наука*. – 2015. – № 3. – С. 152-156.
7. Энциклопедия кибернетики: в 2-х т. Т. 1 / отв. ред. Глушков В.М. – Киев: Главная ред. УСЛ, 1974. – 608 с.
8. Векслин И.И., Кенис М.С., Иванов А.И. и др. Квазианалоговые испытания штамповых сталей // *Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей: сборник статей*. – М.: Metallurgia, 1970. – С. 98-103.

Referances

1. Stamps for hot deformation of metals / under total ed. M.A. Tylkin. – M.: Higher school, 1977. – 496 p.
2. Dovnar S.A. Thermomechanics of hardening and fracture of die forging. – M.: Mechanical engineering, 1975. – 255 p.
3. Trakhtenberg B.F. Durability of stamps and ways to improve it. – Kuibyshev: Book Publishing House, 1964. – 277 p.
4. Kisurina N.A. Increasing the durability of stamping tools for hot working of metals by pressure: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Tula: TulGTU, 2001. – 26 p.
5. Yakubovich E.A. Analisis of the heat treatment modes influence on the life of the tool for hot form.ing // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. 2020, iss. 11, pp. 37-42.
6. Berezin D.T. Study of physical and mechanical properties of die steels under thermal fatigue conditions // *Innovation Science*. 2015, no. 3, pp. 152-156.
7. Encyclopedia of Cybernetics: in 2 vol. Vol. 1 / ed. Glushkov V.M. – Kyiv: Main editorial office of USL, 1974. – 608 p.
8. Vekslin I.I. Kenis M.S., Ivanov A.I. et al. Quasi-analogue tests of stamped steels // *Production and research of high-speed and stamped steels: collection of articles*. – M.: Metallurgy, 1970. – P. 98 – 103.

<p>Якубович Ефим Абрамович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы»</p>	<p>Yakubovich Efim Abramovich – candidate of technical science, professor of the Department “Metal science, powder metallurgy, nanomaterials</p>
<p>eyakubovich@mail.ru</p>	

Received 24.10.2024