

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

– проректор по научной работе

и стратегическому развитию

ФГБОУ ВО «Московский

государственный технический

университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский

университет)»

д.т.н., доцент



Б.Н. Коробец

«26 » сентября 2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Нгуен Суан Хоан

**«Структура и упрочнение штамповой стали с регулируемым
аустенитным превращением при эксплуатации»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

(специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов)

Актуальность темы диссертации

Стойкость штампового инструмента определяет экономическую эффективность процессов горячего формообразования прецизионных заготовок из трудно-деформируемых сплавов. Применяемые в настоящее время для этих целей традиционные штамповые стали на ферритной основе с карбидным или карбидно-интерметаллидным упрочнением обеспечивают удовлетворительную стойкость инструмента лишь при температурах разогрева рабочих поверхностей до 600 – 650 °С. Однако при более высоких температурах такие стали интенсивно разупрочняются, что является причиной быстрого выхода инструмента из строя. Применение жаропрочных аустенитных сталей и сплавов для изготовления штампов также ограничено

УС
МН

ввиду их склонности к растрескиванию, плохой обрабатываемости резанием и высокой стоимости входящих в их состав компонентов.

Изучаемые в диссертационной работе штамповые стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (стали с РАПЭ) были разработаны в СССР в начале 1980-х гг. Эти стали обладают хорошими технологическими свойствами, присущими традиционным ферритным сталям, и обеспечивают повышенную стойкость инструмента, работая в аустенитном состоянии. Высокая устойчивость переохлажденного аустенита исключает его распад при неизбежном охлаждении инструмента до 350 – 500 °С, что позволяет использовать низкотемпературную термомеханическую обработку для упрочнения штампа. В аустенитном состоянии стали с РАПЭ склонны к упрочнению в условиях температурно-силовых нагрузок на инструмент непосредственно при его эксплуатации (т.е. склонны к горячему наклепу). Однако природа горячего упрочнения сталей с РАПЭ остается неизученной. Это затрудняет разработку эффективной технологии обработки штампового инструмента, обеспечивающей высокий уровень его механических свойств и повышенную стойкость при температурах до 750-800°С. Получение новых экспериментальных данных и научных знаний по этим вопросам необходимо для создания экономно-легированных сталей с РАПЭ.

Поэтому представленная работа, посвященная изучению природы горячего наклена и разработке режимов разупрочняющей (обеспечивающей требуемый уровень технологических свойств) и упрочняющей (обеспечивающей требуемый уровень эксплуатационных свойств) обработок новой экономно-легированной стали с РАПЭ безусловно **актуальна** и представляет особый научный и практический интерес для промышленного использования таких сталей.

Структура диссертации и ее основное содержание

Диссертация, состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 113 страницах, включая 30 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 99 наименований. На отзыв также представлен автореферат на 28 страницах.

Во введении обоснована актуальность решаемой научной и технической проблемы, сформулированы цель и задачи исследования,

приведены положения, выносимые на защиту, обозначены научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме исследования, в котором анализируются требования к сталям для горячего прессования, сравнительно рассмотрены состав, структура и механические свойства традиционных сталей для горячего прессования. Описаны основные превращения в сталях при горячей деформации. Представлены данные об особенностях и основных характеристиках штамповых сталей с РАПЭ, рассмотрено влияние термической обработки на свойства таких сталей, показаны малоизученные стороны сталей с РАПЭ, связанные в первую очередь с пробелами в понимании природы горячего наклена. На основе проведенного анализа сформулирована цель и определены задачи исследования.

Во второй главе диссертации дано подробное описание исследуемого материала, технологии его обработки и методов исследования. Подробно изложен план эксперимента и описаны методики выполнения исследований. Обоснован выбор в качестве объекта изучения новой штамповой стали с РАПЭ типа 4Х2Н3М2Г4ФТБ с пониженным содержанием никеля. Обращает внимание применение в работе комплекса эффективных современных металлофизических методов исследования (электронная микроскопия, рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализ, дилатометрический анализ) и механических испытаний.

В третьей главе приведены результаты исследования фазовых и структурных превращений в штамповой стали при отжиге с определением критических точек и построением диаграмм превращения и предложены режимы разупрочняющей термической обработки. Детально изучена кинетика разупрочнения стали при термической обработке в широком диапазоне температур отпуска. На основании полученных данных были определены схема и режимы разупрочняющей термической обработки, включающая высокотемпературный нагрев и выдержку для растворения в аустените вторых фаз (карбидов и интерметаллидов); изотермическую выдержку в бейнитной области для обеспечения выделения из аустенита карбидов и изотермическую выдержку при температурах интенсивного роста и коагуляции выделившихся частиц. Экспериментально показано, что предложенная разупрочняющая обработка приводит к формированию в штамповой стали структуры на основе а-твердого раствора и карбидов и гарантирует требуемый для обеспечения хорошей технологичности уровень твердости около 32 HRC.

В четвертой главе приведены результаты исследования явления горячего наклена в штамповой стали с РАПЭ, для чего был осуществлен процесс ТМО по схеме растяжения. Экспериментально показано, что явление горячего наклена для штамповой стали с РАПЭ заключается в том, что степень наклена в стали с РАПЭ, полученная после гомогенизации при температуре 1150 °C и деформации растяжением при 450 °C, усиливается при последующей деформации растяжением при температуре 750 °C.

В пятой главе приведены результаты исследования природы и механизмов горячего упрочнения, влияющих на горячий наклеп в штамповой стали с РАПЭ, для чего была осуществлена серия ТМО по схеме сжатия и проведены микроструктурные исследования методом просвечивающей микроскопии. Выявлены основные механизмы, обеспечивающие стабилизацию горячего наклена в стали с РАПЭ: деформационное упрочнение аустенита; дисперсионное упрочнение; фазовый наклеп при $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращении; упрочнение при деформации в двухфазной ($\gamma + \alpha$)-области, и проведена количественная оценка их раздельного вклада в общее упрочнение. Показано, что наибольший вклад в стабилизацию горячего наклена вносит деформационное упрочнение аустенита и упрочнение за счет деформации в двухфазной ($\alpha + \gamma$)-области. Разработаны схемы деформационно-термической обработки, обеспечивающие максимальное упрочнение стали с РАПЭ при рабочей температуре 750 °C.

Научная новизна результатов исследования

В диссертационной работе впервые получены следующие важные научные результаты:

1. Изучены структурные превращения в новой экономно-легированной штамповой стали с РАПЭ типа 4Х2Н3М2Г4ФТБ (с пониженным содержанием никеля) при высокотемпературном нагреве в диапазоне 870 – 1050 °C, изотермической выдержке в бейнитной области в диапазоне 330 – 450 °C, а также при отпуске в диапазоне 500 – 780 °C после изотермической выдержки в бейнитной области. Показано, что частичная замена никеля марганцем приводит к повышению стабильности переохлажденного аустенита – для его распада требуется выдержка в бейнитной области не менее 24 ч. Показано, что при нагреве до 630 °C после изотермической выдержки, когда количество вновь образованного аустенита относительно невелико, свойства стали определяются в основном структурными изменениями в бейнитных областях

и ее твердость непрерывно снижается с повышением температуры отпуска до 630 °С. При более высоких температурах от 650 до 780 °С количество аустенита возрастает, а его распад при охлаждении ведет к повышению твердости стали.

2. Выявлены механизмы горячего упрочнения стали с РАПЭ (деформационное упрочнение аустенита; дисперсионное и нано-фазное упрочнение тугоплавким частицами; фазовый наклеп при $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращении и упрочнение при деформации в двухфазной ($\gamma + \alpha$)-области), и количественно оценен вклад каждого из них в горячее упрочнение стали при 750 °С. Показано, что определяющим фактором, влияющим на наличие или отсутствие горячего наклепа в стали с РАПЭ является температура аустенизации.

Практическая значимость диссертационной работы

1 Разработан режим разупрочняющей термической обработки новой штамповой стали с РАПЭ, включающей в себя аустенизацию (1050 °С), длительную выдержку при температурах интенсивного выделения карбидных (интерметаллидных) фаз (330 – 450 °С), двойной нагрев при температурах 550 – 580 °С для их коагуляции и охлаждение с печью. Данный режим обработки обеспечивает требуемый комплекс технологических свойств для механической обработки при изготовлении штампа. Режим разупрочняющей термообработки может быть использован непосредственно на производстве в технологическом процессе изготовления штамповального инструмента.

2 Предложены схемы деформационно-термической обработки стали с РАПЭ, обеспечивающие повышение прочности непосредственно в процессе горячей деформации, что позволит их использовать для эффективного управления ресурсом штамповового инструмента. Показано, что гомогенизация при температуре 1150 °С, предварительная деформация при 450 °С с последующим охлаждением до комнатной температуры и быстрым нагревом на температуру деформации 750 °С стабилизируют состояние горячего наклепа и способствуют максимальному упрочнению стали при рабочих температурах 750 °С.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

В работе получен ряд новых результатов, которые представляют интерес для профильных специалистов, научных организаций и производственных

предприятий, специализирующихся в области проектирования и изготовления штампов горячей прессования.

Полученные в работе результаты содержат новые научные знания, открывающие широкие возможности применения нового типа сталей (стали с РАПЭ) для штамповального инструмента с рабочими температурами до 750 °C, что имеет важное научно-практическое значение.

Достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность положений и выводов в работе обеспечиваются проведением большого количества экспериментов с использованием современного оборудования и методов исследования, воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов. Полученные результаты не противоречат известным научным представлениям и результатам других исследований в этой области металловедения.

Оформление диссертации, публикации и аprobация

Диссертация логично построена, структура и содержание соответствуют цели и задачам исследования. Результаты работы опубликованы в 8 печатных работах, из них 3 – статьи в рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, в журналах из перечня ВАК, а также прошли аprobацию на международных и российских конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. Из текста работы не понятно, как реализовать рекомендуемые схемы ТМО при изготовлении и эксплуатации штамповального инструмента.
2. При рассмотрении структурно-фазовых превращений в стали с РАПЭ в процессе предлагаемой упрочняющей обработки целесообразно провести более детальный анализ и идентификацию фаз, выделяющихся в структуре стали при ТМО.
3. На приведенных в тексте работы графиках истинную деформацию предпочтительно указывать волях, а не в процентах.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основные положения и выводы. Результаты научных исследований имеют существенное научное и практическое значение.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Нгуен Суан Хоан является завершенной научно-квалифицированной работой, в которой на основании выполненных автором исследований и их интерпретации получены новые результаты, совокупность которых можно квалифицировать как решение важной задачи, имеющей значение для развития металловедения штамповых сталей. Работа выполнена на высоком научном уровне. Поставленные в работе цели и задачи полностью достигнуты. Выводы по диссертации обоснованы и достоверны. Диссертационная работа и автореферат написаны строгим научным языком, имеют четко прослеживаемую логику изложения. Автореферат и публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа «Структура и упрочнение штамповой стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации» по актуальности, обоснованности и достоверности полученных результатов, научной и практической значимости полностью отвечает квалификационным требованиям п. 2 «Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. По научно-технической направленности, содержанию, выводам и практической значимости работа соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертационная работа выполнена соискателем на высоком научно-техническом уровне. Автор диссертации – Нгуен Суан Хоан – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв подготовил профессор кафедры материаловедения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доктор технических наук М.Ю. Семенов.

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Нгуен Суан Хоан обсужден и утвержден на заседании кафедры материаловедения ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (протокол №1 от 30 августа 2021 г.).

Заместитель заведующего
кафедрой материаловедения ФГБОУ ВО
«Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
к.т.н., доцент



А.И. Плохих