УДК 669.14.018

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ СПЛАВОВ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ УПРОЧНЕНИЯ ПРИ БЫСТРОМ НАГРЕВЕ

♦♦♦♦♦

CONTROLLING THE STRUCTURAL STATE OF ALLOYS WITH DIFFERENT STRENGTHENING MECHANISMS DURING RAPID HEATING

Думанский Игорь Олегович
кандидат технических наук,
доцент,
доцент кафедры инжиниринга
транспортно-технологических средств и оборудования,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова
i.dumanskij@narfu.ru

Думанский Андрей Игоревич
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией кафедры инжиниринга
транспортно-технологических средств и оборудования,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова
a.dumanskij@narfu.ru

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению особенностей структурообразования в сплавах с различными механизмами упрочнения, а также возможностям и результатам применения скоростного нагрева для управления структурным состоянием этих сплавов.

Ключевые слова: термическая обработка, скоростной нагрев, управление структурообразованием, эксплуатационные свойства сплавов.

Dumansky Igor Olegovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Engineering of Transport
and Technological Means and Equipment,
Northern (Arctic) Federal University
named After M.V. Lomonosov.
i.dumanskij@narfu.ru

Dumansky Andrey Igorevich
Candidate of Technical Sciences,
Head laboratory of the Department
of Engineering of Transport
and Technological Means and Equipment,
Northern (Arctic) Federal University
named After M.V. Lomonosov.
a.dumanskij@narfu.ru

Annotation. This article examines the characteristics of structure formation in alloys with different strengthening mechanisms, as well as the potential and results of using rapid heating to control the structural state of these alloys.

Keywords: heat treatment, rapid heating, control of structure formation, alloy performance properties.

Для пружинных сталей перлитного класса с мартенситным механизмом упрочнения, используемых для изготовления широкого спектра упругих элементов (винтовых и пластинчатых пружин, рессор, торсионов) основными эксплуатационными свойствами являются высокая упругость, выносливость и релаксационная стойкость. В некоторых случаях этот комплекс свойств может быть дополнен повышенной теплостойкостью (клапанные пружины) и стойкостью к абразивному износу (рессоры). Использование СТО с электронагревом позволяет формировать оптимальное структурное состояние пружинных сталей любой легированности, необходимое для получения таких комплексов свойств. В частности, на стадии аустенитизации при закалке упругих элементов с применением скоростных нагревов и точно подобранных температуры и изотермических выдержек реализуется получение особомелкозернистого аустенита с оптимальной степенью неоднородности по углероду и легирующим элементам, а также с возможностью наследования деформационного и фазового наклепа предыдущих стадий упрочняющей обработки. После закалочного охлаждения кристаллы мартенсита, полученные на базе такого аустенита, отличаются меньшими размерами, повышенным содержанием углерода, но при более неоднородном распределении, меньшей степенью двухфазового распада, что определяет более высокий уровень микронапряжений в мартенсите при несколько большем количестве остаточного аустенита, чем после традиционной закалки. Последующий отпуск такого мартенсита, особенно после обработки сталей после закалки холодом для снижения влияния остаточного аустенита, дает возможность сохранить достаточно высокую степень деформационного и фазового наклепа, а также сформировать измельченную субзеренную структуру с образованием высокодисперсных карбидов [1].

Полученная таким образом структура пружинных сталей перлитного класса позволяет повысить уровни пределов упругости и выносливости в 1,5–2 раза при удовлетворительной релаксационной стойкости, в том числе и «теплой». Определенный резерв в приросте пружинного комплекса свойств этих сталей дает и последующий динамический скоростной отпуск (под нагрузкой), позволяющий создать упорядоченную в поле деформации полигонизованную структуру стали, обладающую особенно высокими упругими свойствами при повышенной стойкости к холодной и «теплой» релаксации напряжений [2].

Значительный интерес представляют результаты исследования СТО прецизионных коррозионностойких аустенитных пружинных сплавов системы Fe-Ni-Cr с дисперсионным механизмом упрочнения. В частности, в сплаве 36НХТЮ после закалки со скоростным нагревом получена особомелкозернистая структура, что значительно улучшило технологическую пластичность закаленного сплава и стимулировало во всем его объеме более эффективный с точки зрения достижения высокого комплекса упругих свойств прерывистый механизм выделения упрочняющей γ´-фазы при последующем старении. Напротив, применение скоростной высокотемпературной рекристаллизации этого сплава позволяет реализовать совершенно иной механизм распада пересыщенного γ-твердого раствора при последующем старении – непрерывный, что сопровождается получением однородной мелкозернистой структуры во всем объеме, обладающей несколько более низким комплексом упругих свойств, однако значительно большей теплостойкостью и устойчивостью к «теплой» релаксации.

Использование скоростной закалки для сплава 36НХТЮ М8 позволяет резко сократить объемную долю труднорастворимой избыточной фазы Лавеса типа Fe_2Mo и одновременно сохранить однородную мелкозернистую структуру, устойчивую к собирательной рекристаллизации при дальнейшем повышении температуры, что вообще недостижимо в условиях обычной печной закалки подобных сплавов. Структурное состояние, полученное таким образом, характеризуется повышенными уровнями упругости и выносливости с одновременно высокой теплостойкостью и релаксационной стойкостью [3].

Новым направлением исследований, проводимых и в настоящее время, являются исследования особенностей структурообразования при скоростном нагреве под закалку и горячую деформационную обработку (прокатку, ковку) инструментальных сталей карбидного класса Р6М5 и Х6ВФ с мартенситным механизмом упрочнения и эффектом вторичного карбидного твердения. Применение скоростного нагрева при закалке быстрорежущих сталей позволяет достичь более высокой степени растворения тугоплавких карбидов при умеренных температурно-временных режимах аустенитизации. Эффект воздействия высоких скоростей нагрева при этом основан ан термическом разрушении крупных карбидов, обладающих низкой теплопроводностью и хрупкостью, с последующим ускоренным растворением их в аустените.

Исследования, проведенные на стали Р6М5, подтвердили, что применение скоростного нагрева при закалке повышает концентрацию легирующих элементов в твердом растворе, следствием чего является рост твердости, удельного электросопротивления и количества остаточного аустенита в структуре закаленной стали. Отрицательное воздействие остаточного аустенита на эксплуатационные свойства стали после скоростной закалки может быть устранено двух- или трехкратным последующим отпуском либо дополнительной обработкой холодом после закалки [4].

Инструментальные стали карбидного класса являются труднодеформируемыми, что определяет сложность изготовления из них изделий, создает проблемы обеспечения их высокого качества при горячей пластической деформации, традиционно требующей многократных и длительных промежуточных отжигов для восстановления пластичности. Применение скоростного нагрева перед пластической деформацией и в процессе нее в этом случае позволяет реализовать явление технологической сверхпластичности, поскольку обеспечивает создание и некоторую временную стабилизацию самоорганизующейся структуры. Последнюю характеризует то, что в области несколько ниже температуры начала аустенитизации Ac1 (в интервале «предпревращения») образуются зоны (слои) с малой и высокой пластичностью, взаимодействие которых и предопределяет повышенную пластичность исследуемых сталей в данном диапазоне температур. Рост показателей пластичности при использовании скоростного

электронагрева сталей Р6М5 и Х6ВФ достигает 80–100 % при значительном снижении температур нагрева, исключающих рост зерна, что также положительно сказывается на конечном комплексе прочностных свойств этих сталей [5].

Представленные выше основные результаты исследований в области СТО не являются чисто академическими, они имеют несомненное прикладное, производственное применение. На базе проведенных НИР разработан и прошел успешное промышленное апробирование ряд современных технологических процессов, основанных на использовании скоростного нагрева. Это изготовление упругих гофрированных элементов, пильных шин и дисковых пил, длинномерных ножей из стали Р6М5, осваивается прокатное производство сталей Р6М5 и Х6ВФ и производство упругих элементов из сплавов семейства 36НХТЮ на некоторых приборостроительных и машиностроительных предприятиях.

Литература

1. Думанский И.О. Разработка и исследование процессов скоростной термической обработки пружинных сталей перлитного класса с целью повышения уровня эксплуатационных свойств упругих элементов : автореф. дис. … канд. техн. наук. – М., 1991.
2. Rakhshtadt A.G. Structure and properties of carbon-containing spring steels after high-speed hardening and tempering / A.G. Rakhshtadt, I.O. Dumanskii, O.Yu. Tikhomirova // Metal Science and Heat Treatment. – 1990. – Vol. 32. – № 7–8. – P. 541–550.
3. Особенности растворения фазы Лавеса в условиях скоростного электроконтактного нагрева при закалке / О.М. Ховова [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 6. – 13 с.
4. Думанский И.О. Использование скоростной термической обработки для управления модулем упругости пружинных сталей / И.О. Думанский, А.В. Прохоров, А.И. Думанский // В сборнике: Инженерные задачи: проблемы и пути решения. Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – Архангельск, 2021. – С. 85–88.
5. Пластичность инструментальных сталей в зависимости от условий нагрева при деформации / Н.В. Пасечник [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – № 9. – С. 31–35.

References

1. Dumanskii I.O. Development and study of high-speed heat treatment processes for pearlitic spring steels to improve the performance properties of elastic elements : abstract of dis. ... for degree of Candidate of Technical Sciences. – M., 1991.
2. Rakhshtadt A.G. Structure and properties of carbon-containing spring steels after high-speed hardening and tempering / A.G. Rakhshtadt, I.O. Dumanskii, O.Yu. Tikhomirova // Metal Science and Heat Treatment. – 1990. – Vol. 32. – № 7–8. – P. 541–550.
3. Features of the dissolution of the Laves phase under conditions of high-speed electric contact heating during quenching / O.M. Khovova [et al.] // Metallurgy and Heat Treatment of Metals. – 2000. – № 6. – 13 p.
4. Dumansky I.O. Using high-speed heat treatment to control the modulus of elasticity of spring steels / I.O. Dumansky, A.V. Prokhorov, A.I. Dumansky // In the collection: Engineering Problems: Challenges and Solutions. Materials of the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference of the Higher Engineering School of NArFU. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Lomonosov North (Arctic) Federal University. – Arkhangelsk, 2021. – P. 85–88.
5. Plasticity of tool steels depending on the heating conditions during deformation / N.V. Pasechnik [et al.] // Metallurgy and Heat Treatment of Metals. – 2003. – № 9. – P. 31–35.