УДК 669.14.018

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРИ СКОРОСТНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

FEATURES OF THE FORMATION OF THE STRUCTURAL STATE OF METAL ALLOYS DURING HIGH-RATE HEAT TREATMENT

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,
зав. лабораторией кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
Тел.: +7(911) 552-09-33
a.dumanskij@narfu.ru

Dumansky Igor Olegovich
Ph. D, associate professor,
associate professor 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
Ph. D, 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

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению различных видов нагревов, используемых при термообработке металлов и сплавов, основных эффектов воздействия высоких скоростей нагрева при различных видах термической обработки металлических сплавов, а также особенностям формирующейся при этом структуры.

Ключевые слова: металлический сплав, виды нагревов, термическая обработка, скорость нагрева, структурное состояние.

Annotation. This article examines the various types of heating used in heat treatment of metals and alloys, the main effects of high heating rates during various types of heat treatment of metal alloys, and the characteristics of the resulting structure.

Keywords: metal alloy, types of heating, heat treatment, heating rate, structural state.

Эксплуатационный комплекс свойств сплавов в решающей степени определяется их структурным состоянием. Поэтому одной из основных задач практического металловедения является определение путей и методов формирования оптимальной структуры металлических материалов. Важнейшим направлением получения необходимого структурного состояния является термическая обработка, широко применяемая как в машиностроении, так и в ремонтном производстве в технологических процессах восстановления работоспособности машин и оборудования. Однако, традиционные методы термообработки, использующие нагрев в различных печах или соляных ваннах, имеют ряд существенных органических недостатков, которые серьезно ограничивают возможности этих методов в управлении процессом структурообразования и, следовательно, не позволяют реализовать оптимальные комплексы свойств машиностроительных сплавов. К такого ряда недостаткам можно отнести относительно невысокую скорость нагрева, недостаточные управляемость и стабильность основных параметров нагрева – скорости, температуры, времени, серьезные трудности в осуществлении нагрева по заданной программе. [1]

При этом достаточно давно известен метод термообработки, в значительной мере свободный от вышеперечисленных недостатков – это скоростная термическая обработка (СТО), использующая нагревы при отжиге, закалке, отпуске или старении со скоростями 10^2–10^4 °/с. Такой нагрев может осуществляться различными способами. В настоящее время наибольшее распространение получили такие его виды, как электронагрев (индукционный и электроконтактный или нагрев сопротивлением), плазменный, лазерный, электронно-ионный. Наибольший интерес с точки зрения управляемости процесса структурообразования представляет именно электронагрев, обеспечивающий принципиальную возможность высокоточного и, при необходимости, программного управления всеми параметрами нагрева, а, следовательно, возможность управления в широком диапазоне структурным состоянием сплавов при термообработке или подготовке к пластическому деформированию. [2]

Основой для реализации этого научного направления явилось, прежде всего, создание экспериментальной, опытно-экспериментальной и опытно-промышленной установок для скоростной термообработки методом электроконтактного нагрева со скоростями 10^2–$4 \cdot 10^4$ °/с в интервале темпера-

тур 150–1300 °С. Особенностью этих установок является возможность высокоточного адаптивного управления всеми параметрами нагрева за счет обеспечения обратной связи по температуре в течение цикла нагрева, а также, при необходимости, возможность программного нагрева и охлаждения исследуемых образцов. [3]

Не менее важным этапом стало создание специализированного испытательного комплекса, позволяющего проводить оперативную и достоверную оценку основных физико-механических свойств сплавов после СТО, а также их металлографическое исследование. Помимо серийных приборов для этого комплекса были разработаны и изготовлены уникальные установки для испытаний на выносливость и упругость, приспособление для испытаний на релаксацию, растяжение при нагреве и т.д. Новизна и оригинальность ряда этих разработок защищены патентами. [4]

Надо отметить, что исследования СТО представляют несомненные потенциальные возможности реализации в различных промышленных технологических процессах термической обработки и металлургии.

Указанные выше преимущества применения скоростного нагрева для управления структурным состоянием сплавов определяются рядом эффектов воздействия параметров нагрева и, прежде всего, скорости нагрева на процессы структурообразования. К ним можно отнести следующие эффекты:

1. Воздействие скорости нагрева на процессы кристаллизации. Этот эффект основан на закономерностях течения кристаллизационных процессов, к которым может быть отнесено большинство фазовых превращений. Изменяя скорость нагрева, можно управлять дисперсностью получаемых элементов структуры – субзерен, зерен, кристаллов, выделений избыточной фазы и т.д. В ряде сплавов скорость нагрева определяет не только дисперсность структурных составляющих, но и механизм фазового превращения (диффузионный или бездиффузионный).
2. Воздействие скорости нагрева на степень химической или структурной (по размерам, форме, типу фаз) неоднородности структурных составляющих.
3. Воздействие скорости нагрева на плотность дефектов кристаллического строения, создаваемых вновь и сохраняемых в результате эффекта «наследования» предшествующего деформационного или фазового наклепов.
4. Воздействие скорости нагрева на степень насыщенности твердого раствора легирующими элементами, на условия растворения тугоплавких и труднорастворимых частиц избыточной фазы.
5. Воздействие скорости нагрева на последовательность и степень развития процессов или превращений при аустенитизации, рекристаллизации, отпуске или старении.

Правильный выбор соответствующей комбинации перечисленных выше эффектов наряду с воздействием других факторов скоростного нагрева – температуры и времени изотермической выдержки на определенных стадиях термического воздействия позволяет достаточно точно управлять структурным состоянием сплавов с самыми различными механизмами упрочнения. Естественно, этот выбор определяется, прежде всего, закономерностями структурообразования в этих сплавах, требованиями к необходимому комплексу эксплуатационных свойств сплава и соответствующей этому комплексу оптимальной структурой.

Дальнейшие исследования и разработки современного, экономичного и совершенного метода скоростной термической обработки, проводимые в представленном выше направлении позволят серьезно расширить область его применения в различных отраслях машиностроения, металлургии и металлообработки.

Список литературы:

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., Dumanskii I.O., Tikhomirova O.Yu. Structure and properties of carbon-containing spring steels after high-speed hardening and tempering // Metal Science and Heat Treatment. – 1990. – Т. 32. – № 7–8. – С. 541–550.
3. Исследование влияния особенностей структурного состояния закаленной пружинной стали и режима скоростного отпуска на комплекс механических свойств / И.О. Думанский, С.И. Думанский, А.В. Прохоров [и др.] // В сборнике: Современные научные исследования: теория, методология, практика. Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2020. – С. 21–26.
4. Авторское свидетельство SU 1564515 A1, 15.05.1990. Заявка № 4346520 от 21.12.1987. Машина для усталостных испытаний гибких образцов при продольном изгибе / Думанский И.О., Клыков Г.М.

List of 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 Cand. Sci. (Eng.). – M., 1991.

2. Rakhshtadt A.G., Dumanskii I.O., Tikhomirova O.Yu. Structure and properties of carbon-containing spring steels after high-speed hardening and tempering // Metal Science and Heat Treatment. – 1990. – Vol. 32. – № 7–8. – P. 541–550.

3. Study of the influence of structural state features of hardened spring steel and high-speed tempering mode on a set of mechanical properties / I.O. Dumanskii, S.I. Dumanskii, A.V. Prokhorov [et al.] // In the collection: Modern scientific research: theory, methodology, practice. Collection of articles based on the materials of the II International Scientific and Practical Conference. – Ufa, 2020. – P. 21–26.

4. Author's certificate SU 1564515 A1, 15.05.1990. Application No. 4346520 dated 21.12.1987. Machine for fatigue testing of flexible specimens under longitudinal bending / Dumansky I.O., Klykov G.M.