

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

**Г. А. Околович, Д. В. Кураков, В. И. Левков,
М. В. Гертер, Е. О. Чертовских**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Повышение механических свойств кремнистых пружинных сталей 55С2А, 60С2А могут быть повышены дополнительным экономным легированием хромом и ванадием, а также соответствующей термической обработкой.

Ключевые слова: пружинные стали, хрупкое разрушение, предел упругости, остаточный аустенит, закалка, отпуск, изотермическая закалка

FEATURE SPRING STEEL

**G. A. Okolovich, D. V. Kurakov, V. I. Levkov,
M. V. Herter, E. O. Chertovskikh**

Altai state technical university, Barnaul, Russia

Improvement in the mechanical properties of siliceous spring steels 55S2A, 60S2A may be increased an additional economical doping chromium and vanadium, as well as the appropriate heat treatment.

Keywords: spring steels, brittle fracture, the elastic limit, the residual austenite, hardening, tempering, isothermal hardening

Самый распространенный класс пружинных сплавов – стали, упрочняемые мартенситным превращением. Эти стали используют в различных областях машиностроения и приборостроения для изготовления весьма ответственных упругих элементов. Если совсем недавно к этому классу относили главным образом углеродистые, низко- и среднелегированные стали, то в настоящее время в связи с ростом требований к упругим элементам в него следует включить новые высоколегированные и, наконец, безуглеродистые мартенситно-старяющие стали. Помимо новых составов пружинных сталей, обеспечивающих более высокий уровень свойств упругих элементов, в последнее время разработаны новые методы металлургического производства, термической и термомеханической обработки, которые также позволяют существенно повысить основные свойства указанных изделий.

Для изготовления пружин железнодорожных вагонов применяют горячекатаный круглый прокат рессорно-пружинных сталей 55С2А, 60С2А и 60С2Х2А (ГОСТ 1452-2003).

Тяжелонагруженные пружины ответственного назначения поглощающих аппара-

тов автосцепки повышенной мощности следует изготавливать из стали марки 60С2ХФА, показавшей лучшее сочетание технологических и механических свойств. Эта же сталь является перспективной для пружин рессорного подвешивания большегрузных вагонов, которая осваивается на заводе ОАО «Алтайвагон». Кроме того сталь 60С2ХФА прокаливается до 80 мм вместо 40 мм в стали 60 С2А (при охлаждении в масле).

Пружинная сталь после закалки, наряду с повышенным содержанием углерода в твердом растворе, характеризуется высокой плотностью дислокаций и внутренних двойников, а также мелкозернистой структурой. Чем меньше зерно, тем выше сопротивление малым пластическим деформациям, ниже локальные концентрации напряжений у границ зерен при нагружении и поэтому выше сопротивление отрыву, определяющее склонность стали к хрупкому разрушению, особенно в высокопрочном состоянии, и ниже температуры перехода из вязкого состояния в хрупкое. Для уменьшения склонности стали к хрупкому разрушению необходимо снижение уровня внутренних напряжений. Кроме того, закалка должна обеспечивать получе-

ние минимальных зональных напряжений, так как они снижают предел упругости, а их релаксация в готовых пружинах в процессе службы создает нестабильность характеристик. С этой целью целесообразно применять ступенчатую и особенно изотермическую закалку пружин или, наконец, использовать воздушно-закаливающиеся стали [1].

После термической обработки пружинная сталь должна также содержать минимальное количество остаточного аустенита, так как он отличается более низким, чем мартенсит, пределом упругости и в его присутствии снижается сопротивление умеренным и малым пластическим деформациям изделия [2].

По этой причине, а также из-за возможности превращения остаточного аустенита в мартенсит при нагружении и особенно при охлаждении до низких температур, сталь, содержащая в структуре аустенит, обладает пониженной релаксационной стойкостью и склонностью к замедленному разрушению, в результате чего происходит преждевременное разрушение пружин даже в условиях статического нагружения.

В связи с этим, чтобы уменьшить количество остаточного аустенита, в процессе термической обработки пружин используют все известные методы, в частности рационально выбирают условия закалки – температуру и скорость нагрева, а также охлаждения.

Так как в процессе отпуска пружин остаточный аустенит может претерпевать превращение и это ведет к росту предела упругости, продукты этого превращения характеризуются меньшим сопротивлением малым пластическим деформациям, чем продукты превращения мартенсита.

Окончательные свойства пружин определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуются потенциальные возможности для повышения сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств, создаваемых в процессе закалки мартенситным превращением.

В температурном интервале отпуска (200–400 °C) достигается максимум сопротивления микро- и малым пластическим деформациям.

Имеется несомненная общность между процессами изменения субструктуры, происходящими при отпуске стали, закаленной на мартенсит, и стали, подвергнутой пластической деформации. Чтобы в результате был достигнут высокий предел упругости, сталь в исходном состоянии после мартенситного превращения или деформационного наклепа

должна иметь достаточно сильно измельченную субструктуру. Именно поэтому предел упругости деформированной или закаленной стали после отпуска тем выше, чем выше степень пластической деформации или соответственно чем больше объемный эффект и ниже температура превращения при закалке [3]. Во время отпуска и в закаленной, и в деформированной стали происходят, имеющие между собой много общего, процессы изменения исходной субструктуры мартенсита или феррита: образование разнообразных сегрегаций и выделение карбидных частиц (особенно из мартенсита), закрепляющих дислокации.

Однако достигаемое в этих двух случаях упрочнение характеризуется различной устойчивостью. Как правило, оно выше после мартенситного превращения, и поэтому релаксационная стойкость пружин из стали после закалки и отпуска больше, чем после поверхностного деформационного наклепа и отпуска при равных значениях предела прочности.

В тоже время упругие элементы, которым упругость была придана деформационным упрочнением в холодном состоянии и полигонизацией при отпуске, имеют существенно большую усталостную прочность, чем после закалки и отпуска. Этот эффект можно объяснить более равномерным распределением дислокаций и формированием стабильной полигонизированной структуры стали, чем после закалки и отпуска или поверхностного наклепа и такого же отпуска.

Для надежной работы пружин в условиях длительного статического и динамического нагружения, а также при наличии концентраторов напряжений режим отпуска, помимо высокого уровня предела упругости, должен обеспечить определенный уровень пластичности и вязкости при повышенном сопротивлении хрупкому разрушению.

По указанным причинам режим отпуска должен быть строго регламентированным не только по температуре, но и по продолжительности.

Оптимальным режимом упрочняющей термической обработки высокопрочной стали 60С2ХФА является изотермическая закалка на нижний бейнит с отпуском по следующему режиму: нагрев до 880–900 °C, изотермическая выдержка пружин с диаметром прутка до 40 мм при температуре 290–330 °C в течение 45–60 мин и отпуск при температуре 300–325 °C в течение 1 часа на твердость HRC 45–51.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

Выводы:

Изотермическая закалка выполняется охлаждением в жидких средах – расплавах солей. При охлаждении в кипящем слое можно получить структуру и свойства изделий аналогичные, получаемым при изотермической закалке.

Список литературы

1. Рахштадт, А. Г. Пружинные стали [Текст] / А. Г. Рахштадт. – М. Металлургия, 1971. – 495 с.
2. Околович, Г. А. О сопротивлении инструментальных сталей усталостному разрушению [Текст] / Г. А. Околович, А. В. Семичастная, В. Ф. Моисеев // Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент. – 1973 – № 6.

3. Околович, Г. А. Свойства пружинных сталей после термообработки и деформационного упрочнения [Текст] / Г. А. Околович, А. Г. Околович, А. М. Гурьев // XV Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых. – Томск, 2009. – С. 112–114.

Околович Геннадий Андреевич – д.т.н., профессор

Левков Виктор Илларионович – инженер

Кураков Дмитрий Вячеславович – инженер

Гертер Максим Владимирович – аспирант

Чертовских Евгений Олегович – инженер

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия