

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Б.А. Зеленов, к.т.н., Б.С. Крылов, к.т.н.; ФГУП «ЦНИИ материалов»;  
В.Ф. Юдкин, к.т.н., А.В. Юдкин; ООО АТГ

Исследования и испытания материалов демонстрируют большие возможности виброгашения в конструкциях двигателей с применением ферритных сплавов типа Fe-Cr-Al взамен традиционных материалов.

Эти сплавы обладают комплексом высоких электромагнитных характеристик, что позволяет рекомендовать их для полифункционального применения в двигателях внутреннего сгорания и электрических машинах.

Использование в двигателях нетрадиционных конструкционных сплавов с повышенной способностью демпфирования колебаний является одним из эффективных путей снижения вибраций и шума действующих механизмов и газового тракта выхлопа.

Демпфирующая способность является самостоятельной характеристикой материала, которая связана с внутренним трением — процессами, происходящими внутри самих тел (структурными изменениями), и оценивается коэффициентом затухания колебаний или обратной добротностью  $Q^{-1}$  по зависимости

$$Q^{-1} = \frac{\psi}{2\pi},$$

где  $\psi$  — доля энергии, поглощенной за одно колебание в замкнутом цикле деформации.

При выражении через логарифмический декремент колебаний

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_i}{A_{i+n}},$$

где  $n$  — число колебаний в интервале амплитуд (от начальной  $A_i$  до конечной  $A_{i+n}$ ), коэффициент затухания (иногда называют коэффициентом потерь или коэффициентом внутреннего трения) определяется по формуле

$$Q^{-1} = \frac{\delta}{\pi}.$$

Обычные стали при амплитуде деформации порядка  $1 \cdot 10^{-4}$  имеют коэффициент затухания  $Q^{-1} \cdot 10^3 \leq 1$ .

На примере ферритных хромистых сталей известно, что при повышении амплитуды дефор-

мации их демпфирующая способность сначала возрастает, а затем уменьшается, т. е. эта зависимость имеет максимум.

Рассеивающая способность сплавов ферритного класса обусловлена их ферромагнитными свойствами: поглощением при движении границ доменов или так называемыми потерями гистерезисного типа, перемагничиванием под действием циклических нагрузок, а также локальными и общими изменениями намагниченности, т. е. потерями на микровихревые токи в объекте под действием его деформации от циклических и ударных нагрузок.

Таким образом, подобные ферритные сплавы с характерно высоким уровнем демпфирования обладают также высокими магнитно-мягкими характеристиками, что и позволяет их называть по возможностям применения многофункциональными [1].

Наиболее ярким представителем этого класса служит сплав Fe-Cr+Complex [2, 3], который обеспечивает эффективную виброакустическую и электромагнитную защиту при частоте нагружения (колебания) от единиц до миллионов Герц и напряжении нагружения от 3 до 200 МПа (рис. 1).

Максимального раскрытия описанных эффектов как феномена в диссипации энергии достигают управлением металлургическим процессом, легированием сплава и структурированием при термической обработке, а также эффективным конструированием разных элементов из сплавов.

Применительно к этому сплаву исследованиями установлено, что долей поглощаемой энергии в сплаве можно управлять и регулировать в диа-

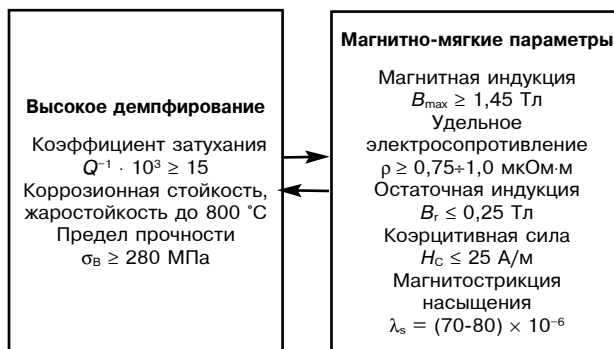


Рис. 1. Параметры Fe-Cr+Complex-сплава виброакустической и электромагнитной защиты

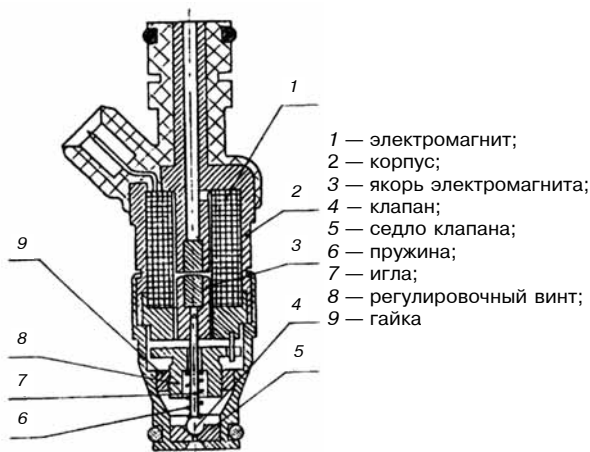
пазоне  $Q^{-1}=(0,01\div 20)\cdot 10^{-3}$  механотермическим формированием структуры, влиянием величины амплитуды деформации и возможным электромагнитным воздействием. Наиболее успешно весь комплекс свойств сплава Fe-Cr+Complex был реализован в конструкции инжектора (рис. 2), в котором из сплава изготовлены детали 2, 3 и втулка магнитопровода с контрполюсом (конструкция ОАО «Пекар»).

Для целей виброгашения сплавы этого типа успешно применяются в приборной технике около 20 лет. Сдерживающим фактором к широкому применению была до сих пор высокая цена сплава, связанная с прецизионной вакуумной выплавкой и термообработкой в контролируемой атмосфере для достижения высокого эффекта при виброакустической и электромагнитной защите.

Решение задачи удешевления сплава требует многогранной работы, но это оправдывается расширением области использования сплава в автомобилестроении и электротехнической промышленности.

За истекший период проведены различные прикладные исследования и испытания сплавов Fe-Cr+Complex, а также разработана нормативно-техническая документация для обеспечения выплавки слитка, производства полуфабрикатов (прутков, ленты) и технологии изготовления узлов и деталей из сплава.

Применительно к топливной аппаратуре двигателей из сплава изготовлены элементы быстродействующих клапанов, магнитопроводов, корпусных и крепежных деталей, которые успешно прошли испытания в инжекторах на бензиновых



Показатель	ЭМФ 19.1132 010	BOSCH EV1.3
Время, мс:		
срабатывания	1,30–1,35	1,5
отпускания	0,6–0,7	0,8
Ресурс, цикл	$\geq 1,2 \times 10^9$	$1 \times 10^9$
Динамический фактор	1 : 15	1 : 10

Рис. 2. Сравнительные показатели отечественной и немецкой форсунок

(рис. 2), дизельных и газодизельных двигателях российских и зарубежных фирм. По результатам испытаний (см. рис. 2) ресурс инжекторов при изготовлении названных выше деталей из демпфирующего и магнитно-мягкого сплава был выше, чем у форсунок известной немецкой фирмы «Bosch» более чем на 20%.

Положительный эффект был также достигнут при использовании сплава в электродвигателях, штамповарных опорах автомобиля.

Технология изготовления прецизионных и сложных деталей из сплава без особых трудностей была освоена на разных по оснащенности предприятиях.

Оценка демпфирующей способности на образцах и деталях, названных выше, выполнена на частотах до 20 кГц. Графическая зависимость этих характеристик приводится на рис. 3, по которым можно судить о снижении в несколько раз уровня амплитуды колебания, особенно на резонансных частотах, и смещении максимумов амплитудных гармоник в сторону низких частот, которые менее опасны для развития концентраторов напряжений в металле.

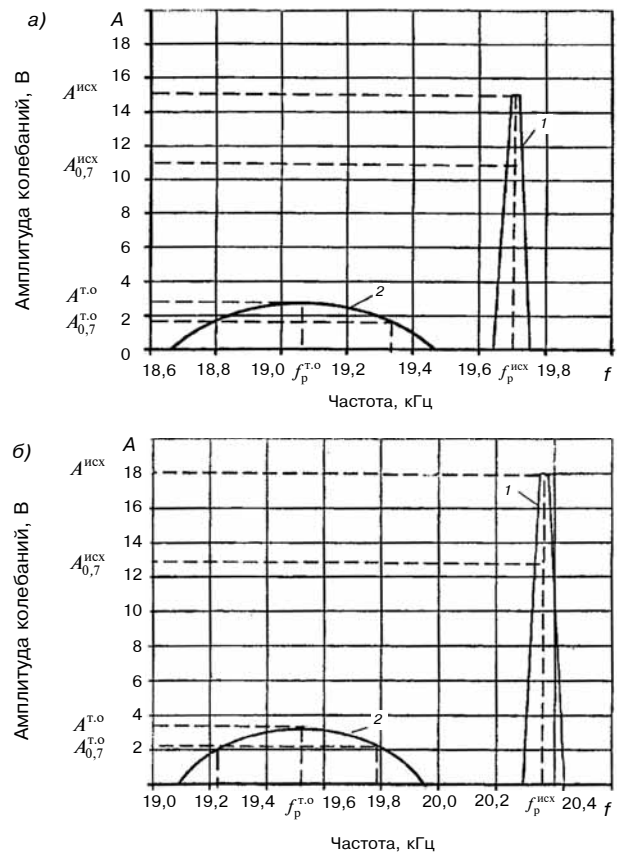


Рис. 3. Резонансные кривые колебаний деталей, выполненных из демпфирующего сплава:

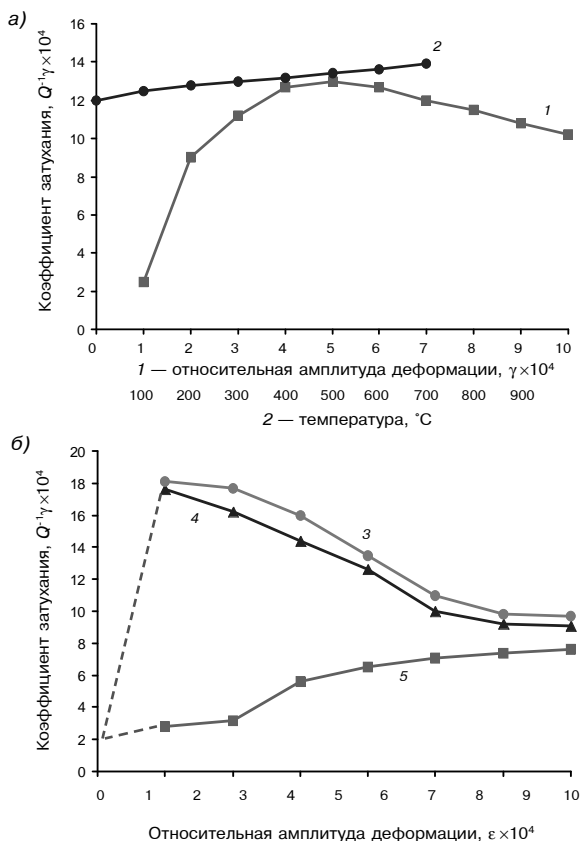
1 — исходное состояние; 2 — термообработанное состояние;

$f_p^{исх}, f_p^{т.о}$  — резонансная частота, кГц;

$A^{исх}, A^{т.о}$  — амплитуда колебаний в резонансе, В;

$A_{0,7}^{исх}, A_{0,7}^{т.о}$  — амплитуда колебаний на уровне 0,7, В;

а) стакан СП 7.310.260; б) втулка СП 7.320.612



**Рис. 4.** Амплитудная и температурная зависимости коэффициента затухания при кручении (а) и при изгибе (б) сплава Fe-Cr+Complex после обработки на высокое демпфирование (кривые 1, 2, 3, 4) и в исходном состоянии (кривая 5)

Поскольку в сплавах в качестве демпфирующей силы выступает внутреннее вязкое трение, его величина задается в расчетах при помощи коэффициентов Рэлея. Для аналитических целей понадобятся диаграммы зависимости декремента колебания от частоты в разных условиях нагружения. Поэтому на рис. 4 приводится ряд экспериментальных зависимостей, которые определены на образцах при нагружении в условиях

кручения (а) и изгиба (б) после обработки сплава Fe-Cr+Complex на высокий уровень демпфирования и для сравнения на кривой 5 (б) — на образцах без такой обработки, т. е. в исходном состоянии.

Известно, что у двигателей внутреннего сгорания одним из самых виброактивных узлов является система выпуска отработавших газов.

Для системы выпуска автомобилей в США, Японии и России широко применяют нержавеющую сталь марки 08X18T1 и АвтоВАЗ совместно с ИЧМ (Украина) осваивает трехслойную сталь типа Д-117. Объем применения нержавеющей стали для узлов системы выпуска достигает более 300 тыс. т в год, и ее расходы будут возрастать в связи с непрерывным ужесточением экологических требований [4]. Для этих целей можно порекомендовать применение экономно легированного сплава Fe-Cr+Complex, что позволит существенно снизить уровень виброакустического излучения и металлоемкость конструкции системы выпуска за счет иных конструктивных решений при использовании демпфирующего эффекта самого сплава.

#### Выводы

1. Использование сплава Fe-Cr+Complex в качестве «пассивной» демпферной защиты обеспечивает высокую эффективность в точных приборах и в равной мере может быть полезным в двигателестроении для вибрационной надежности и электромагнитной защиты в первую очередь элементов топливной аппаратуры.

2. Сплав позволяет уменьшить не менее чем в 2 раза уровень напряжений на виброактивных деталях, снизить на деталях в 1,3–1,5 раза перегрузки и в 2–4 раза — виброускорения. Уровень звукового давления снижается в 1,50–2 раза.

3. Можно прогнозировать достижение эффективности при использовании сплава в виброактивных узлах крепления двигателя, элементов системы выпуска и картера.

#### Литература

1. Зеленов Б.А., Крылов Б.С., Гордеев С.К. Многофункциональные материалы с управляемыми свойствами // ЦНИИ материалов — 90 лет в материаловедении: научно-технический сборник. Юбилейный выпуск / ФГУП ЦНИИМ. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. — С. 8–17.
2. Патент РФ №2219278. Демпфирующий сплав на основе железа ферритного класса, способ изготовления

из него изделия, и изделие, получаемое этим способом / Зеленов Б.А., Крылов Б.С., Юдкин В.Ф.

3. Патент РФ №2219252. Способ изготовления изделия из демпфирующего сплава ферритного класса, и изделие, получаемое этим способом / Зеленов Б.А., Крылов Б.С., Юдкин В.Ф.

4. Тихонов А.К. Материалы для легкового автомобилестроения в XXI веке. Докл. и тез. Конгресс технологов автомобилестроения. — М., 28 августа 2003.