

составляют половину затрат от отказа погрешность определения оптимальной периодичности по предлагаемой формуле составляет 8,7%. Следует отметить, что последнее не имеет большого значения, так как на практике назначать периодичность диагностирования большую средней наработки на отказ технической системы никто не будет.

Таким образом, полученная формула (5) может быть применена для расчета оптимальной периодичности диагностирования технических систем (автомобилей в частности) и позволяет понять, от чего зависит величина оптимальной периодичности.

ВЫВОДЫ

1. Оптимальная периодичность диагностирования прямо пропорционально связана со средней наработкой на отказ технической системы.

2. Отношение оптимальной периодичности диагностирования к средней наработке на отказ технической системы зависит только от отношения средних затрат на диагностирование и профилактические работы по устранению обнаруженных неисправностей к средним затратам от отказов технической системы.

3. На интервале отношений затрат $0,001 < C_D / C_O < 0,3$ отношение периодичности диагностирования к средней

наработке на отказ возрастает практически линейно, поэтому для нахождения оптимальной периодичности диагностирования вместо формулы (5) можно воспользоваться упрощенной эмпирической формулой: $T_D^{opt} = T_O (0,11 + 2,48 C_D / C_O)$. Поскольку зависимость по формуле (1) в районе экстремума весьма пологая, расчет по упрощенной формуле не будет приводить к существенному снижению точности результата.

4. Вывод формулы оптимальной периодичности диагностирования производился для технической системы, отказ которой происходит из-за отказа любого элемента, входящего в систему, а наработки до отказа элементов не связаны друг с другом. Если диагностирование проводят с целью оценки состояния конкретного элемента, ресурс которого распределен по закону, отличающемуся от экспоненциального (например, по нормальному закону или закону Вейбулла с небольшим коэффициентом вариации), то полученные выражения оптимальной периодичности диагностирования могут рассматриваться как приближенные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболь Б.В.* Практикум по вычислительной математике / Б.В. Соболь, Б.Ч. Месхи, И.М. Пешхоев. — Ростов н/Д: Феникс, 2008. — 342 с.

DEFINITION OF OPTIMUM PERIODICITY OF DIAGOSING

© 2012

V.S. Malkin, candidate of technical sciences,
associate professor of the chair «Projection and maintenance of cars»
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: technical diagnostic; optimum periodicity of diagnosing.

Annotation: The formula for calculating the optimal frequency of diagnosis of technical systems (automobile), which provides a minimum total cost per diagnosis and elimination of consequences of failure.

УДК 621.43

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВС ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ СПОСОБЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТВС

© 2012

Д.А. Павлов, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления»
Л.Н. Бортников, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления»
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти (Россия)

Ключевые слова: водород; гетерогенное горение; ДВС; топливовоздушная смесь (ТВС); экономические показатели; токсичность.

Аннотация: исследуется влияние добавок водорода на экономические и экологические показатели двигателя внутреннего сгорания при гетерогенном способе формирования ТВС.

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент в мире эксплуатируется более 700 млн. автомобилей с ДВС, которые потребляют около 80% всех производимых нефтепродуктов. Дефицит нефти уже сегодня составляет около 4 млн. баррелей в день, а к 2025–2040 году, в связи с дальнейшим истощением запасов нефти, прогнозируется его увеличение до 20 млн. баррелей в день. Таким образом, традиционные моторные топлива на основе нефти будут стремительно дорожать. По некоторым прогнозам запасы органических топлив будут израсходованы в ближайшие десятилетия, поэтому отдаление данного момента путем экономии и рационального использования, в т.ч. за счет перехода на альтернативные топлива, становится задачей поддержания национальной безопасности государства. Другая причина интереса, проявляемого к альтернативным топливам возможность значительного улучшения экологичности ДВС, который стал основным источником загрязнения воздуха во многих крупных городах мира. В связи с этим, ведущие автомобилестроительные фирмы интенсивно проводят работы не только по усовершенствованию ДВС и систем очистки отработанных газов от токсичных веществ, но и по переводу автомобилей на альтернативные топлива, наиболее перспективным из которых является водород и его добавки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы являлось исследование в условиях моторного стенда влияния добавок водорода на основные показатели дизельного двигателя реализующего гетерогенное горение и определение количества добавок водорода, обеспечивающих достижение практически значимых результатов по снижению удельного расхода и улучшению экологических параметров двигателя.

Объектом испытаний является поршневой, четырёхтактный дизельный двигатель КАМАЗ 740.62 - 280, рабочим объемом $V_h = 11,76$ л., степенью сжатия $\epsilon = 16,5$ и номинальной мощностью $N_e = 280$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n = 1900$ мин⁻¹.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились в моторном боксе оборудованном индукторным тормозом и измерительным оборудованием соответствующим требованиям ГОСТ Р 41.49 - 2003 (Правила ЕЭК ООН № 49).

Дополнительно моторный стенд оснащался системой подачи водорода, обеспечивающей добавку водорода в ТВС в необходимом количестве. Величина добавок водорода при этом определялась, исходя из существенности получаемого по экономичности и токсичности ДВС эффекта и возможностью практической реализации бортового генератора водорода заданной производительности.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ВОДОРОДА НА МОЩНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Водород имеет примерно в три раза большую теплотворную способность по сравнению с дизельным топливом [1], однако его плотность во много раз меньше плотности дизельного топлива, что может оказать влияние на мощностные характеристики двигателя [2, 3]. Для оценки влияния водорода на мощностные характеристики были сняты условные внешние скоростные характеристики двигателя (УВСХ) без добавки водорода и с максимальной возможной подачей водорода (см. рисунок 1), которую способна обеспечить применяемая система ($G_H = 0,42$ кг/ч). При этом массовое соотношение водород-дизельное топливо на различных скоростных режимах варьировалось в диапазоне 2–2,5 % на частоте вращения коленчатого вала 900 мин⁻¹ и менее 1 %

при частоте 1900 мин⁻¹. Из рисунка 1 можно видеть, что при добавке водорода мощность, крутящий момент двигателя практически не меняется.

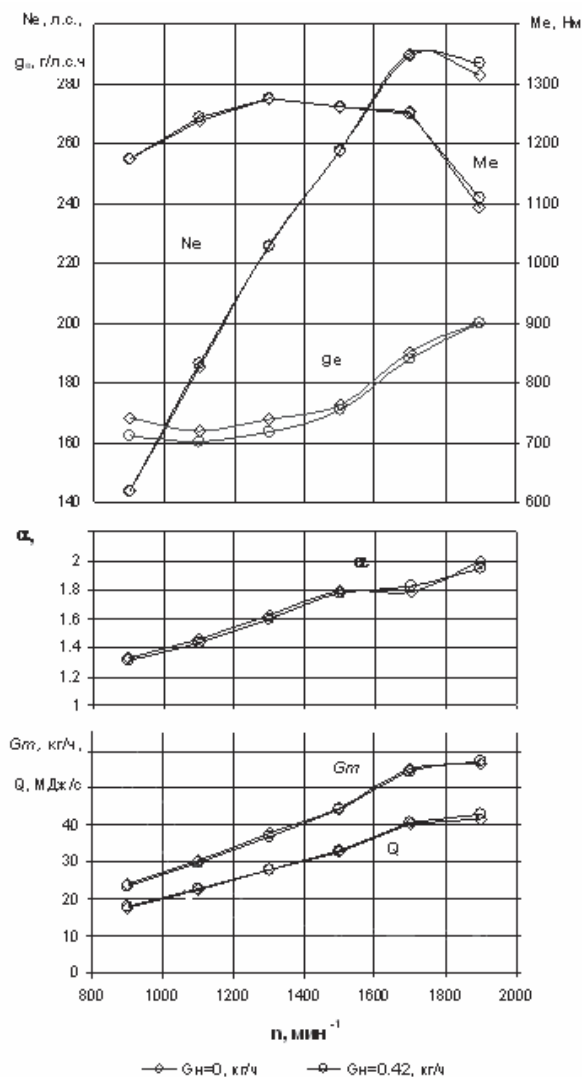


Рис. 1. Условная внешняя скоростная характеристика двигателя КАМАЗ 740.62 – 280.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: g_e – удельный эффективный расход топлива, N_e – эффективная мощность, M_e – крутящий момент, G_m – часовой расход топлива, Q – количество тепла подведенного с топливом.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ВОДОРОДА НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Экономичность двигателя определяется степенью эффективного использования подведенной с топливом теплоты [4] и количественно может быть оценена величиной удельного эффективного расхода топлива:

$$g_e = G_m / N_e \quad (1)$$

где G_m – расход топлива, кг/ч;
 N_e – эффективная мощность двигателя, л.с.

Однако, использовать указанную величину в качестве критерия оценки экономичности при добавке водорода в двигатель не корректно, т.к. при добавке водорода изменяются теплофизические свойства топлива (рабочей смеси) [5]. Поэтому оценка экономических параметров двигателя при добавке водорода проводилась по двум

параметрам: Q , МДж/с – общее количество тепла поступившее в цилиндры двигателя с дизельным топливом и водородом в единицу времени и η_e – эффективным КПД двигателя.

На рисунке 2 представлено характерное изменение расхода топлива и общего количества теплоты, подведенной к двигателю, в зависимости от процента добавки водорода. Некоторое увеличение величины Q обусловлено погрешностями измерений.

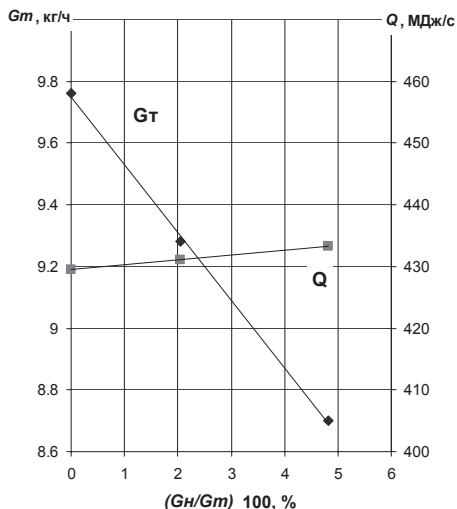


Рис. 2. Изменение G_m и Q в зависимости от процента добавки водорода ($N_e = 42$ л.с., $n = 1180$ мин⁻¹).

Дальнейший анализ результатов экспериментов позволил установить, что расход дизельного топлива подчиняется следующей зависимости:

$$G_m^H = G_m - G_H (Hu_H / Hu_m), \quad (2)$$

где G_m^H – расход дизельного топлива при добавке водорода, кг/ч; G_m – расход дизельного топлива без добавки водорода, кг/ч; G_H – расход водорода, кг/ч; Hu_H , Hu_m – низшие теплотворные способности водорода и дизельного топлива соответственно [6].

Анализ результатов показал, что добавка водорода на исследованных режимах работы двигателя при принятых условиях не оказывает практически значимого влияния на КПД двигателя. Наглядно данный вывод подтверждается результатами, представленными на рисунке 3, где показано изменение эффективного КПД двигателя на различных режимах его работы.

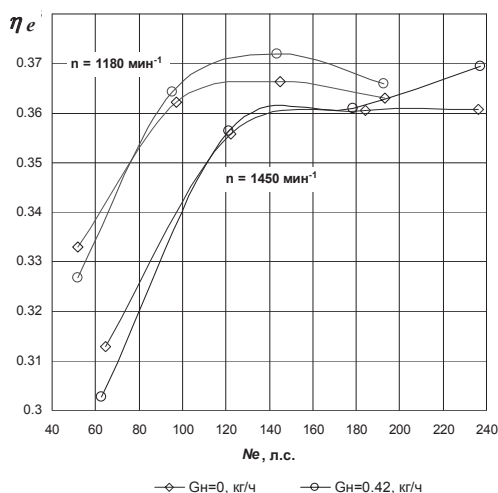


Рис. 3. Изменение эффективного КПД двигателя.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ВОДОРОДА НА ТОКСИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вследствие высокой химической активности добавка водорода даже в небольших количествах, может оказывать влияние на токсичность двигателя [3, 7].

На рисунке 4 представлена зависимость выбросов от доли добавляемого водорода. Из графиков видна тенденция к снижению CO, в процентном отношении составляет примерно 10%. С увеличением нагрузки и скоростного режима снижение CO составляет еще более низкий процент.

Исключением является режимы холостого хода (XX), где указанный компонент при добавке водорода уменьшается примерно на 40% (см. рисунок 5). Объяснение этому может служить тот факт, что при работе на этом режиме имеет место уменьшение коэффициента избытка воздуха (α), со значения $\alpha = 9$ при работе без водорода до $\alpha = 7$ и существенная величина добавки водорода, при сохранении температурного режима сгорания топлива, о чем свидетельствует температура ОГ, которая практически не меняется. Необходимо отметить, что коэффициент избытка воздуха при добавке водорода на других режимах работы двигателя практически не изменялся.

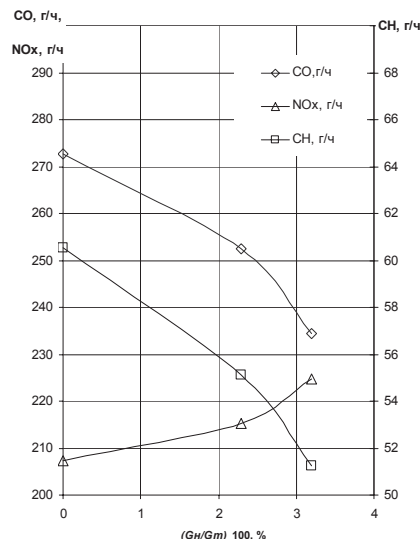


Рис. 4. Изменение выбросов CH, CO, NOx в зависимости от % добавки водорода в ТВС на режиме $n = 900$ мин⁻¹, $N_e = 25$ л.с. (D- 25).

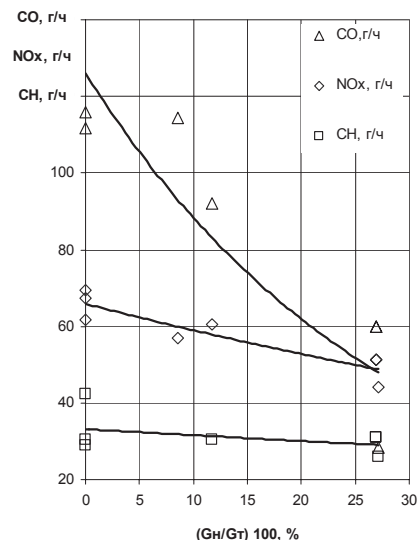


Рис. 5. Изменение выбросов CH, CO, NOx в зависимости от % добавки водорода в ТВС на режиме XX.

Испытания двигателя по циклу ESC (ГОСТ Р 41.49 - 2003) показали, что добавка водорода в количестве $G_H = 0,42$ кг/ч снижает выбросы CO на 5%.

Из рисунков 4 и 5 можно видеть, что концентрация CH в ОГ при увеличении доли водорода уменьшается. Аналогичная картина имеет место на всех режимах работы двигателя, при этом интенсивность снижения CH больше на режимах малой нагрузки и XX, где отношение водород - дизельное топливо выше.

Анализ полученных результатов показывает, что характер изменения выбросов CH при добавке водорода не меняется, при этом абсолютные значения выбросов CH в массовом выражении при добавке водорода уменьшаются с среднем на 50% в зависимости от режима работы и процентного соотношения водород - дизельное топливо. Следует отметить, что снижение CH происходит, не пропорционально уменьшению расхода топлива. Наглядно это видно на рисунке 6, где представлено характерное изменение расхода топлива G_m и снижение выбросов CH, выраженное в относительных величинах, определенных по формулам:

$$\delta G_m = 100 - (100 G_m^H / G_m), \%$$

$$\delta CH = 100 - (100 CH^H / CH), \%$$

где CH^H - массовые выбросы несгоревших у водородов при использовании добавки водорода; CH - массовые выбросы несгоревших углеводородов без использования добавки водорода.

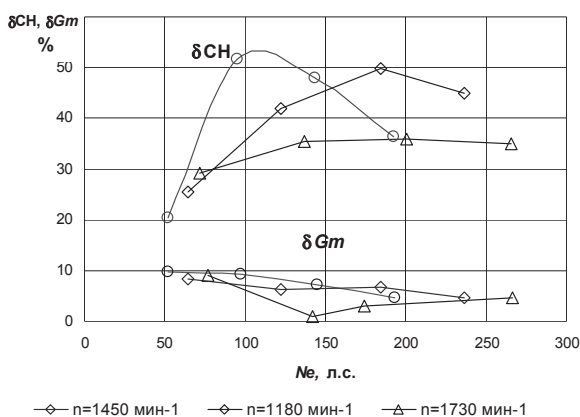


Рис. 6. Уменьшение расхода топлива δG_m и снижение выбросов δCH выраженное в относительных процентах.

Уменьшение выбросов CH при 13-ти ступенчатом цикле испытаний двигателя по ГОСТ 41-49-2003 составило около 40%.

Теоретически с ростом количества добавляемого водорода NOx увеличиваются, вследствие увеличения температуры сгорания, которая является определяющим фактором для их образования. В частности, из рисунка 4 можно видеть, что с увеличением добавки водорода выбросы NOx увеличиваются пропорционально добавке водорода (примерно на 5%, при добавке водорода 3%). Вместе с тем, результаты измерений выбросов оксидов азота NOx на скоростных и нагрузочных режимах работы двигателя показывают, что на исследуемых режимах выбросы NOx при добавке водорода остаются практически на исходном уровне. Это объясняется тем, что количество водорода, добавляемого на этих режимах, относительно мало, и не оказывает заметного влияния на температуру сгорания рабочей смеси. Максимальное отношение водород - дизельное топливо на указанных режимах составляет величину не более 3%. При этом общее количество теплоты, подведенной с топливом, оставалось на идентичных режимах одинаковым.

На рисунке 5 представлено изменение массовых выбросов NOx на режиме XX. Из рисунка видно, что с увеличением добавки водорода наряду с уменьшением количества выбросов продуктов неполного сгорания (что объясняется некоторым увеличением полноты сгорания и дожигания в процессе выпуска ОГ) имеет место и снижение выбросов NOx. Данный факт можно объяснить тем, что двигатель на режиме XX работает на бедных смесях с коэффициентом избытка воздуха более 7 и температура сгорания в этих условиях практически не меняется, о чем косвенно свидетельствует температура ОГ. В этих условиях основным фактором, определяющим выход NOx, будет является концентрация свободного кислорода в ОГ, которая ниже при использовании добавки водорода.

Таким образом, в принятом диапазоне изменения расхода водорода на исследованных режимах добавка водорода не оказывает практически значимого влияния на выбросы NOx. Это подтверждается и 13-ти ступенчатым циклом испытаний по ГОСТ Р 41.49 - 2003, где увеличение количества NOx при добавке водорода в количестве 0,42 кг/ч составило всего 3%.

ВЫВОДЫ

По результатам работ можно сделать следующее основные выводы:

1. Получены характеристики двигателя при подаче водорода в ТВС, а именно регулировочные характеристики двигателя, УВСХ, а также проведены испытания двигателя по циклу ESC ГОСТ Р 41.49 - 2003, как без добавки водорода, так и с добавкой водорода в количестве $G_H = 0.135$, $G_H = 0.19$ и $G_H = 0.42$ кг/ч.

2. По полученным экспериментальным результатам определены зависимости влияния добавки водорода на мощностные и экономические показатели двигателя, а также установлено влияние водорода на отдельные токсичные компоненты. В частности получено:

- добавка водорода в принятом диапазоне изменения его расхода, не ухудшает мощностные показатели двигателя;
- на исследованных режимах работы двигателя при принятых условиях добавка водорода не оказывает практически значимого влияния на эффективный КПД двигателя;
- анализ результатов экспериментов позволил установить, что расход дизельного топлива подчиняется следующей зависимости: $G_m^H = G_m - G_H(H_{uH} / H_{uM})$. Предложенная зависимость позволяет проводить оценку расхода топлива при использовании добавки водорода погрешностью 5%;
- применение добавки водорода существенно снижает выбросы CH - на отдельных режимах работы двигателя до 40%;
- в принятом диапазоне изменения расхода водорода концентрация CO в ОГ снижается на режиме XX примерно на 40%, на других исследованных режимах в среднем на 5%;
- в принятом диапазоне изменения расхода водорода на исследованных режимах добавка водорода оказывает незначительное влияние на выбросы NOx.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гамбург Д.Ю. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: справ. Изд. / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовкин, Л.Н. Смирнова. Под ред. Д.Ю. Гамбург Н.Ф. Дубовкина. - М.: Химия. - 1989.
- 2 Лютко В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. - М.: МАДИ, 2000 - 2 т.

- 3 Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко; Киев.: Наука думка, 1984.
- 4 Воинов А.И. Процессы сгорания в быстроходных поршневых двигателях / А.И. Воинов; М.: Машиностроение. – 1977.
- 5 Исследование рабочего процесса двигателя ВАЗ-2111 с добавкой водорода: отчет о НИР/ ТолПИ – АО АВТОВАЗ. – 2000. – № 01.20.0004377.
- 6 Бортников Л.Н. Некоторые особенности горения бензоводородовоздушной смеси в цилиндре ДВС Физика горения и взрыва, № 4, 2007.
- 7 Русаков М.М. Пределы стабильного сгорания обедненных бензовоздушных смесей в ДВС при различных способах интенсификации / М.М. Русаков и др.; Сборник трудов XI симпозиума по горению и взрыву. – 1996.
- 8 Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов. Изд. 2-е - перераб. – М., Машиностроение. – 1981.

RESEARCH THE PERFORMANCE ENGINE AT HYDROGEN ADDITIVE IN HETEROGENEOUS FORMATION FAM

© 2012

D.A. Pavlov, candidate of technical sciences,
associate professor of the chair «Energy machines and control systems»

L.N. Bortnikov, candidate of technical sciences,
associate professor of the chair « Energy machines and control systems»
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: hydrogen; CI Engine; combustion; FAM; toxic.

Annotation: Research the performance engine at hydrogen additive of heterogeneous formation FAM on economic and ecological indicators.

УДК 378.14

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ni₃Al С ПРИПОЯМИ ПРИ ПАЙКЕ

©2012

Б.Н. Перевезенцев, доктор технических наук, профессор

О.Г. Убирайло, магистрант

И.Н. Миронов, инженер

Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: интерметаллидный сплав; алюминид никеля; жаропрочный сплав; припой; краевой угол смачивания.

Аннотация: Изучен характер и способность смачивания интерметаллидного сплава Ni₃Al припоями ВПр24, ВПр42 и СТЕМЕТ-1301.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из быстро развивающихся направлений материаловедения является исследование структуры, свойств и возможностей практического применения интерметаллических соединений или как их часто называют «интерметаллиды».

Большинство интерметаллидных сплавов обладают высокой твердостью, жаропрочностью, обладают эффектом памяти.

Наибольший интерес в машиностроении представляют алюминиды титана и никеля, как материалы для эксплуатации в условиях высоких температур.

Интерметаллическое соединение Ni₃Al, легированное небольшими добавками хрома, титана, вольфрама и других тугоплавких металлов, отличается высоким сопротивлением окислению при температурах 1100–1200°С и пониженной плотностью.