

УДК 539.5:669.14:539.261

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик АН УССР В. П. АРХАРОВ, Е. С. МАРХАСИН, Н. Ф. ДУБРОВ,
Л. И. БЕРШТЕЙН, Л. Х. РОЙТМАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ ВНУТРЕННЕЙ АДСОРБЦИИ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Применение известного карбонитридного способа упрочнения ванадиевой стали, широко применяемой в машиностроении, ограничивается тем, что при увеличении содержания упрочняющего элемента снижаются пластичность и вязкость, сталь становится хрупкой.

Повышение содержания углерода или азота в такой стали также ведет к ее охрупчиванию. Представляло интерес исследовать природу этого явления и выяснить возможность более полного использования упрочняющего действия легирующего элемента в стали этого типа. Основным материалом исследования * была литая сталь марки 20ФЛ.

Выяснилось, что появление хрупкости при повышенных содержаниях углерода и упрочняющего элемента — ванадия связано с межкристаллитным характером разрушения.

Электронно-фрактографическое исследование по методу экстрагирующих реплик (¹) показало, что поверхности излома образцов содержат пленочные выделения и обогащены ванадием. Это навело нас на мысль, что в интересующих нас явлениях охрупчивания играет роль межкристаллитная внутренняя адсорбция (²⁻⁴), в данном случае ванадия.

Адсорбционная активность ванадия подтвердилась при исследовании межкристаллитных изломов стали 20ФЛ (с 0,1% V) методом анализа состава ионов, эмиттированных из поверхностного слоя образца при бомбардировке его пучком ионов аргона. В то время как в составе ионов, эмиттированных из поверхности шлифа стали, количество ванадия практически незаметно, сравнительно с количеством железа, в пучке ионов, эмиттированных из поверхности свежего излома, количество ванадия превышает долю железных ионов. Это превышение наблюдается только в первый период бомбардировки и заметно снижается по мере удаления тонкого поверхностного слоя, очевидно, обогащенного ванадием вследствие внутренней адсорбции **.

Рентгеноспектральные исследования также показали, что поверхностный слой свежего межкристаллитного излома стали 20ФЛ обогащен ванадием: интенсивность линии $K_{\alpha 2}V$ на спектрограммах от излома вдвое превышает интенсивность этой линии от шлифа тех же образцов ***.

Данные о межкристаллитной адсорбции углерода в стали имеются в работах (^{5, 6}).

В свете идеи о связи хрупкости с межкристаллитной внутренней адсорбцией можно представить себе механизм влияния повышенных содержаний ванадия и углерода на механические свойства стали: совместная межкристаллитная внутренняя адсорбция этих элементов, концентрируя ванадий и углерод у границ зерен, приводит, с одной стороны, к усилению образо-

* В проведении работы принимали участие А. И. Троцан, Т. И. Дубянская, Е. И. Голуб, А. А. Филиппенков, В. А. Мошаров, А. Р. Вишневский.

** Эти исследования проведены Ю. Г. Скрипкой.

*** Измерения проведены З. А. Самойленко.

вания карбонитридных выделений при охлаждении стали на границах зерен в виде тонких пленок, ослабляющих межзеренную связь, с другой же стороны, фиксируя большую часть добавляемого ванадия и углерода у границ зерен, не дает им распределиться равномерно в толще зерна. Первое приводит к хрупкости, второе не позволяет усилить упрочнение через дисперсионное твердение.

Таблица 1

Механические свойства сталей

Марка стали	σ_T , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	δ , %	ψ , %	a_{H+20}	a_{H-60}
20Л	$32 \pm 2,01$	$52,5 \pm 2,56$	$27,2 \pm 2,61$	$48,0 \pm 5,64$	$13,4 \pm 1,48$	$2 \pm 1,2$
20ФЛ	$40,3 \pm 3,0$	$60,0 \pm 3,6$	$24,3 \pm 2,5$	$45,3 \pm 5,3$	$12,2 \pm 2,1$	$3,2 \pm 1,2$
20ФАЛ+Са	$49,6 \pm 1,8$	$69,3 \pm 2,2$	$31,6 \pm 1,6$	$63,6 \pm 3,4$	$15,5 \pm 2,2$	$8,8 \pm 1,9$

Такое представление о природе влияния ванадия на свойства стали навело на мысль о возможности использовать явления конкуренции адсорбционно-активных (гирофильных) примесей, когда в составе стали их несколько (⁷⁻⁹). Нужно было найти такой элемент, при дополнительном микролегировании которым можно было бы подавить межкристаллитную адсорбцию ванадия, не создавая при этом охрупчивания от адсорбции дополнительной микропримеси. Этот путь обещал двойную выгоду: во-первых, могло быть предотвращено охрупчивание, а во-вторых, отеснение ванадия в толщу зерна должно позволить в более полной мере использовать его упрочняющее действие.

Конкурентноспособные примеси были найдены; наиболее эффективным оказался кальций. Введение кальция в сталь 20ФЛ или 20ГФЛ существенно улучшило свойства сталей этих марок. Для иллюстрации в табл. 1 сопоставляются свойства стали 20ФЛ и стали такого же состава с добавлением кальция.

Сталь выплавлялась вначале в лабораторных печах в Уральском научно-исследовательском институте черных металлов, затем в промышленных электропечах и в мартеновских печах на Уральском вагоностроительном заводе. Кальций (в виде ферросиликокальция или силикокальция) вводился при разливке стали — в ковш после предварительного полного раскисления стали алюминием. Данные табл. 1 являются средними из 60 плавок. Колебания свойств в пределах, указанных в табл. 1, соответствуют химическому составу стали 20ФАЛ.

Наряду с существенным увеличением прочностных характеристик (σ_B , σ_T), получено значительное повышение пластичности (δ , ψ); особенно важным является сильное увеличение ударной вязкости (a_H) при низких температурах (-60°).

Электронно-микроскопические исследования поверхностей изломов и шлифов стали показали, что на границах зерен отсутствуют пленочные выделения карбонитридов, в отличие от границ зерен в стали 20ФЛ, не легированной дополнительной микродобавкой кальция. В то же время в толще зерна наблюдается усиление эффекта дисперсионного твердения, увеличивается количество карбонитридных частиц, причем они оказываются мельче, чем в стали без кальция*.

Результаты проведенных электронно-микроскопических исследований подтверждают адсорбционный характер явлений охрупчивания и ограниче-

* Последнее обстоятельство представляет особый интерес, так как максимальное упрочнение, как известно, может быть получено при оптимальной степени дисперсности выделений. Представляется вероятным, что изменения дисперсности карбонитридных частиц связано с внутрикристаллитными явлениями внутренней адсорбции, о которых ранее высказана гипотеза (¹⁰). Дополнительное, более детальное исследование этого вопроса может привести к дальнейшему улучшению свойств стали.

пия упрочняющего действия дополнительного микролегирования стали кальцием. Это подтверждено также рентгеноспектральными исследованиями, показавшими, что в стали 20ФЛ, дополнительно микролегированной кальцием, интенсивность линии $K_{\alpha_2}V$ от межкристаллитного излома и от шлифа практически одинакова, тогда как интенсивность линии $K_{\alpha_2}Ca$ от излома существенно сильнее, чем от шлифа, т. е. подтверждается межкристаллитное обогащение кальцием*.

Таким образом, на основе новых представлений, вытекающих из теории межкристаллитной внутренней адсорбции, удалось не только выявить природу явлений, развивающихся в стали данного типа, но и обосновать принципиально новые пути решения чрезвычайно трудной задачи — одновременно его повышения и прочностных, и пластических свойств технического материала, а главное, реализовать эти пути, создать новую высокопрочную, высокопластичную, хладостойкую сталь с очень небольшим, легко осуществляемым изменением технологии ее выплавки и с использованием очень малых количеств недефицитного дополнительного элемента.

Испытания новой стали на свариваемость, обрабатываемость и усталостную стойкость показали ее полную пригодность для внедрения в тяжелом машиностроении. Совокупность свойств стали, микролегированной кальцием, позволяет усовершенствовать конструкции машин, повысить их надежность и долговечность.

Общность явлений межкристаллитной внутренней адсорбции микропримесей и, в частности, их конкуренции открывает большие возможности улучшения свойств широкого круга материалов путем соответствующего дополнительного микролегирования.

Донецкий государственный
университет

Поступило
8 X 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Архаров, Е. С. Мархасин, Зав. лаб., т. 37, № 5, 567 (1971). ² В. И. Архаров, Тр. Ин-та физики металлов УФ АН СССР, в. 20, Свердловск, 1958, стр. 201. ³ В. И. Архаров, С. Д. Вангенгейм, Сб.: Вопросы физики конденсированного состояния, Киев, «Наукова думка», 1969, стр. 15. ⁴ В. И. Архаров, Сб.: Теория и практика микролегирования и модифицирования сталей, Донецк, 1971, стр. 8. ⁵ I. R. Low, Trans. AIME, v. 245, 2481 (1969). ⁶ P. Jolly, Met. Trans., v. 2, 341 (1971). ⁷ В. И. Архаров, Н. Н. Скорняков, Тр. Ин-та физики металлов, в. 16, М.—Л., Изд. АН СССР, 1955, стр. 75. ⁸ В. И. Архаров, Н. Н. Скорняков, ДАН, т. 89, 841 (1953). ⁹ В. И. Архаров, С. Д. Вангенгейм, И. Б. Ключева, Физика металлов и металловедение, т. 7, № 3, 476 (1959). ¹⁰ В. И. Архаров, Тр. Ин-та физики металлов, в. 19, Изд. АН СССР, 1958, стр. 153.

* Измерения проведены З. А. Самойленко.