

А.И. САГРАДЯН, С.Г. МАМЯН, А.В. АНДРИАСЯН

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕЗУГЛЕРОДИСТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ С ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Исследованы пути повышения производительности и износостойкости инструментов из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением, создания оптимальной структуры и свойств инструментального материала при использовании прогрессивных наукоемких технологий ТМО с установленными температурно-деформационными параметрами. С целью выявления эффекта упрочнения безуглеродистых быстрорежущих сплавов В14М7К25 при ТМО изучены особенности структурных изменений и внутридиффузионные процессы при коагуляции.

Ключевые слова: дисперсность структуры, высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), ДМО-2, коагуляция, диффузия, зернистость, теплостойкость.

Качество и эксплуатационные характеристики высоколегированных инструментальных сталей и сплавов в основном зависят от размеров зерна и дисперсности упрочняющих фаз – карбидов и интерметаллидов.

При термической обработке быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов с интерметаллидным упрочнением в связи с высокой температурой плавления и, соответственно, высоким интервалом оптимальных температур окончательного нагрева при закалке получение мелкозернистости и дисперсности рабочей структуры является актуальной научно-технической задачей.

Высокая температура закалки исследуемых инструментальных материалов обусловлена необходимостью максимального растворения упрочняющих фаз, что обеспечивает повышение основной характеристики – теплостойкости матрицы – и формирование сравнительно дисперсной упрочняющей вторичной фазы при последующем отпуске.

Дисперсность частиц новой упрочняющей фазы и характер их распределения по объему сплава в процессе отпуска при гетерогенном зарождении определяются числом и расположением мест предпочтительного зарождения. В отличие от гомогенного зарождения, центры фазового превращения при гетерогенном выделении упрочняющих фаз могут быть резко неоднородно распределены по объему матрицы сплава, концентрируясь, например, на границах крупных зерен. Часто кристаллы новой упрочняющей фазы, расположенные по границам зерен матричной фазы, дают четкие контуры этих границ. Подобная структура характеризуется повышенной хрупкостью и низкой износостойкостью. При этом они могут весьма равномерно распределяться по объему матрицы, если места предпочтительного зарождения сами равномерно распределены по объему исходной фазы, что

возможно в случае зарождения на дислокациях, дефектах упаковки и включениях.

Изменение числа и характера расположения мест гетерогенного зарождения вследствие термической обработки, пластической деформации и других способов температурно-деформационного воздействия является одним из эффективных путей регулирования структуры, получающейся при фазовых превращениях [1-4].

Исследованы безуглеродистые сплавы типа В11М7К23, В14М7К25, которые по своему составу сложные и относятся к высоколегированным сплавам системы Fe-Co-W-Mo. Фазовый состав в закаленном состоянии, с невысокой твердостью 32 ...38 HRC, безуглеродистый мартенсит и первичные интерметаллиды типа $(\text{FeCo})_7(\text{W},\text{Mo})_6$, а у углеродистых быстрорежущих сталей марок Р18, Р9К5, Р6М5 карбиды WC и MoC. Их дисперсностью обусловлено формирование оптимальной структуры и комплекса механических свойств, в частности, теплостойкость, твердость, прочность, ударная вязкость и износостойкость инструментального материала после полного цикла ТО [5].

В данной работе исследованы пути повышения производительности быстрорежущих сталей и сплавов, создания оптимальной структуры и свойств при использовании прогрессивных наукоемких технологий ТМО с установленными температурно-деформационными и кинетическими параметрами.

Для выявления эффекта упрочнения безуглеродистых быстрорежущих сплавов типа В11М7К23, В14М7К25 с интерметаллидным упрочнением при ТМО одновременно исследованы особенности структурных изменений и внутридиффузионные процессы при коагуляции. В работе изучены механизм и особенности образования суб-, микро- и макроструктуры при использовании различных схем ТМО, в том числе и принципиально новые технологии с использованием естественных деформационно-температурных воздействий в процессе резания [6].

При анализе влияния ТМО на теплостойкость особый интерес вызывает процесс дисперсионного твердения, вызываемого выделением ε - фазы в быстрорежущих сплавах. Так как константа самодиффузии в γ - железе меньше, чем в α - железе, то следует ожидать, что при одинаковых температурах процесс выделения интерметаллидов из α - раствора протекает быстрее, чем из γ - раствора, что создает более тонкое строение. Следовательно, деформацию при ВТМО быстрорежущего сплава для создания структуры с высокой дефектностью матрицы необходимо проводить в γ - области, а последующий отпуск, с целью выделения дисперсных упрочняющих фаз, в интервале температур 600... 650°С. Этим объясняется положительное влияние пластической деформации перед отпуском.

Проведенные исследования на быстрорежущих сплавах типа В14М7К25 показали, что вследствие ТМО по схеме ВТМО и деформации мартенсита после ВТМО (ДМО-2) повышаются дисперсность структуры, твердость и износостойкость (рис.1). При этом созданная развитая субструктура устраняет основной недостаток этих сплавов – повышает ударную вязкость.

Механизм увеличения дисперсности упрочняющих фаз путем ТМО имеет большое практическое значение. При ВТМО и ДМО-2 создание высокой плотности дислокации и мозаичной развитой структуры мартенсита приводит к резкому увеличению дисперсности структуры безуглеродистых быстрорежущих сплавов типа В14М7К25 по сравнению с обычной ОТО (рис. 1а,б,в).

В результате проведенных экспериментов уменьшаются размеры, улучшается дисперсность распределения упрочняющих фаз – интерметаллидов.

Проведенные структурные исследования сплавов типа В14М7К25 после ОТО, ВТМО и ДМО-2 на металлографическом микроскопе Neophot-21 показывают измельчение структуры, повышение дисперсности (рис.1). При обычной ТО указанных сплавов закалка проводилась при 1280°С, отпуск - 600°С продолжительностью 2 часа.

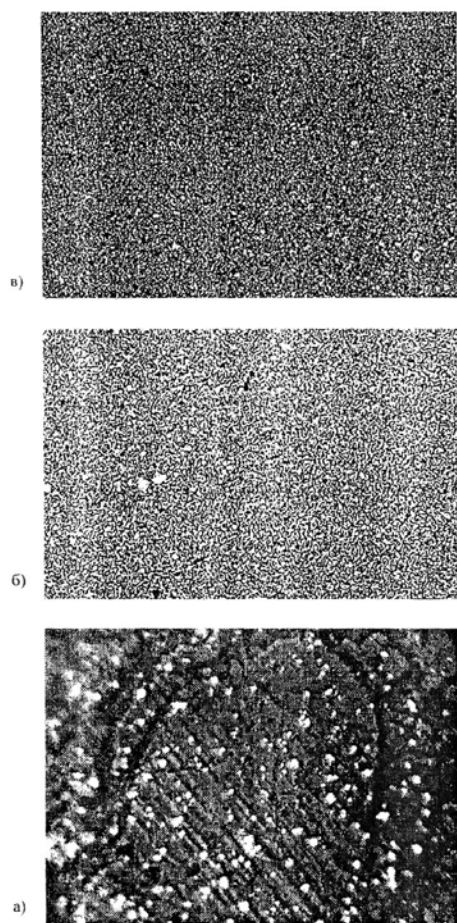


Рис. 1. Микроструктура быстрорежущего сплава типа В14М7К25 с интерметаллидным упрочнением после: а - обычной термообработки (ОТО); б - высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО, $T_{\text{деф}}=1050^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon=22\%$, $\dot{\varepsilon}'=0,02...0,003 \text{ c}^{-1}$); в - ВТМО + ДМО-1 (при холодной деформации $\varepsilon=15\%$), $\times 500$

Термомеханическая обработка по схеме ВТМО проводилась в интервале температур 950...1050 °С, степень деформации - $\varepsilon = 22\%$, скорость деформации - $\dot{\varepsilon}' = 0,02...0,003 \text{ с}^{-1}$.

Термомеханическая обработка по схеме ДМО-2 проводилась последовательно: ВТМО согласно вышеизложенным режимам с последующей холодной деформацией, степенью обжатия деформации $\varepsilon = 15\%$. Причем наилучшие результаты по улучшению комплекса физико-механических свойств быстрорежущих сплавов получены при обработке по схеме ДМО-2 (рис. 1 в).

В результате изменения структуры при термической и термомеханической обработках создается тонкая субмикроскопическая неоднородность строения, характерная для высокопрочного состояния инструментального сплава. В то же время изменение в строении и составе упрочняющей интерметаллидной фазы означает, что меняется не только кинетика, но и механизм превращения при ТМО исследуемых быстрорежущих сплавов.

Одновременно в результате ТМО исследуемых сплавов, проведенных по установленным режимам, образуется специфичная структура (полигонизированная), определяющая замедление процессов коагуляции частиц упрочняющих фаз и рекристаллизации. Причем при низкотемпературной ТМО с деформацией мартенсита происходит частичное торможение процессов выделения и коагуляции фаз упрочнений - интерметаллидов.

При диспергировании структуры быстрорежущего сплава после различных схем ТМО резко уменьшается концентрационный градиент dc/dx , что приводит к замедлению коагуляции даже при повышенных температурах 650...700 °С (рис.2). Подобный процесс замечен при естественной самоорганизующейся низкотемпературной термомеханической обработке (ЕСНТМО).

В зависимости от значений температуры деформирования при ТМО в процессе резания процессы перестройки дислокации будут протекать по-разному, при этом поглощенная пластической деформацией энергия определяет изменения в тонком строении кристаллов в связи с созданием их новых конфигураций в результате самодиффузии в объеме тонких поверхностных слоев инструментального материала (рис.2).

Коэффициент самодиффузии для быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов, имеющих в основном симметричные кубические решетки, определяется по формуле [3]

$$D_{CD} = a^2 / \tau = D_0 \exp(-U_{CD} / KT),$$

где a – параметр решетки; τ - усредненное время перескока атома, определяющее заметное развитие энергии самодиффузии, которое для инструментальных быстрорежущих сталей и сплавов связано с их температурой плавления T_s [K] полуэмпирической зависимостью $U_{CD} \approx 38T_s \text{ кал/мол}$, когда $T = 38T_s / k \ln(\tau D_0 / a^2)$ [3]; при типичных значениях: $D_0 \approx 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$, $\tau \approx 10^3 \text{ с}$, $a = 10^{-8} \text{ см}$ получим $T_{пер} \approx 1/2 T_s$. На основе данной формулы оценивается граница температур переползания дислокаций. Причем ниже этой границы при $0,3 T_s$ для инструментальных сталей и сплавов будет

происходить холодная деформация, при $(0,3...0,6) T_s$ - теплая, а при $(0,6...0,7)T_s$ и выше - горячая, сопровождающаяся интенсивной перестройкой дислокационной структуры и миграцией границ с самодиффузионными явлениями. Теплостойкость инструментальных сталей и сплавов зависит от кинетики коагуляции упрочняющих фаз – карбидов и интерметаллидов в процессе отпуска или эксплуатации инструмента. Диффузионные процессы, контролирующие процесс коагуляции при данной температуре, резко зависят от градиента концентрации легирующих элементов.

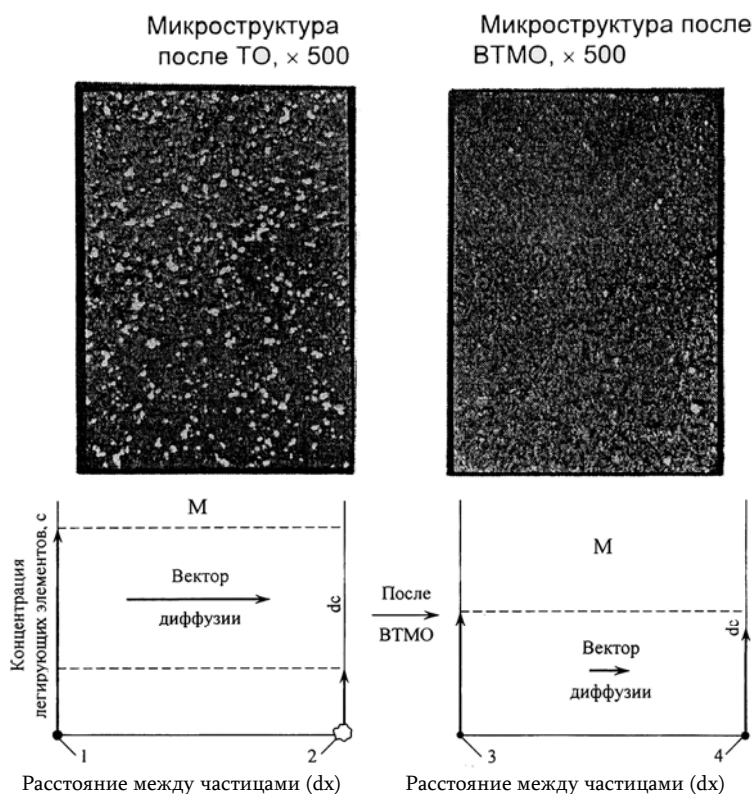


Рис.2. Зависимость скорости диффузии при коагуляции дисперсных частиц от градиента концентрации dc/dx : 1...4 - карбиды или интерметаллиды

На рис.2 дается зависимость скорости диффузии при коагуляции дисперсных частиц от градиента концентрации dc/dx . Как видно из рисунка, в левой нижней части видны механизм действия и направление диффузии, а в верхней части - металлографическое фото микроструктуры инструментального материала с распределением упрочняющих частиц – интерметаллидов после обычной ТО. В правой части рис. 2 показана микроструктура после ТМО, на которой четко выслеживается измельчение структуры с повышенной дисперсностью распределения упрочняющих частиц. Под рисунком микроструктуры показано снижение градиента концентрации после ВТМО и

скорости диффузии, что приводит к торможению процесса коагуляции. В соответствии с полученными результатами обнаружено повышение дисперсности структуры и комплекса физико-механических свойств.

Необходимо отметить, что в процессе ТМО быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов в результате динамической рекристаллизации формируется мелкое зерно. При этом термомеханическое упрочнение создает развитую субструктуру мартенсита и влияет на размеры зерна, кинетику и морфологию превращения в разных стадиях ТМО.

Таким образом, рациональное применение ТМО для быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов приводит к весьма благоприятным структурным изменениям, что позволяет рекомендовать ТМО как перспективную технологию для безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением с целью получения мелкозернистой и дисперсной структуры, повышения комплекса физико-механических свойств - долговечности, износостойкости, а также эксплуатационных характеристик инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М.** Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 479 с.
2. **Бернштейн М.Л.** Структура деформированных металлов. – М.: Металлургия, 1977. – 430 с.
3. **Алексеев А.А.** Механизм образования зерен в процессе деформации // Прочность неоднородных структур: Материалы II Евразийской конференции.-М.: МИСИС, 2004. – С. 104-105.
4. **Штремель М.А.** Об участии диффузии в процессах механического легирования // М и ТОМ. - 2002. - ¹ 8. – С. 10-12.
5. **Геллер Ю.А.** Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 525 с.
6. **Сагрядян А.И.** Исследование естественной термомеханической обработки инструментальных быстрорежущих сталей и сплавов в процессе резания // Доклады НАН Армении. – 2005. - Т. 105, ¹ 4. – С. 369-376.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 01.12.2006.

Ա.Ի. ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ, Ս.Գ. ՄԱՄՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ

**ԶԵՐՄԱՍԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԻՋՄԵՏԱՂԱԿԱՆ
ԱՄՐԱՑՄԱՍԲ ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՀԱՄԱԶՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ**

Հետազոտված են միջմետաղական ամրացմամբ արագահատ համաձուլվածքների արտադրողականության բարձրացման ուղիները գործիքանյութի լավարկված կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորմամբ՝ օգտագործելով գիտականորեն հիմնավորված ջերմա-դեֆորմացման և կինետիկական պարամետրով ՋՄՄ առաջավոր, գիտատար տեխնոլոգիաներ: Թ11Օ7Խ23, Թ14Օ7Խ25 ածխածնազուրկ արագահատ համաձուլվածքների ՋՄՄ ժամանակ ամրացման էֆեկտի բացահայտման որոշման հետ միաժամանակ հետազոտված են գործիքանյութի կառուցվածքային փոփոխությունների առանձնահատկությունները և կոագուլացման հետ կապված դիֆուզիոն գործընթացները:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքի համասեռություն, ԲՋՄՄ, ՄԴՄ-2, կոագուլյացիա, մարտենսիտ, հատիկայնություն, ամրություն, ջերմակայունություն:

A.I. SAGRADYAN, S.G. MAMYAN, A.V. ANDRIASYAN

**CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CHANGES AND FORMATION OF NONCARBON
HIGH-CUTTING ALLOY PROPERTIES WITH INTERMETALLIC STRENGTH FOR
THERMOMECHANICAL TREATMENT**

Ways of increasing the productivity and wearability of tools made of noncarbon high-cutting alloys with intermetallic strength, and developing optimal structure and properties of tool material using progressive scientific technologies of temperature strain parameters are investigated. To reveal the strength effect of noncarbon high-cutting alloys B14M7K25 for TMT, the structural changes and infra-diffusive process characteristics in coagulation have been studied.

Keywords: structure dispersion, high temperature thermomechanical treatment (TMT), martensite strain, MST-2, coagulation, graininess, diffusion strength.