

К ВОПРОСУ О ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ СПЛАВАХ

Н. Д. ТЮТЁВА и А. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

Явление дисперсионного твердения характерно для многих технических сплавов. Оно наблюдается в системах сплавов с ограниченной растворимостью компонентов, уменьшающейся с понижением температуры.

Сплавы, в которых закалка фиксирует пересыщенный твердый раствор, при последующем старении упрочняются. Изменение механических свойств выражается в повышении твердости, пределов упругости и прочности и обычно в снижении пластичности, хотя в отдельных случаях пластичность почти не изменяется (дуралюмин).

В табл. 1 приведены примеры изменения механических свойств некоторых сплавов с ярко выраженным дисперсионным твердением.

Таблица 1

| Сплав | Химический состав в % | Состояние сплава | Механические свойства | | |
|---------------------|--|--|----------------------------------|------------|-------|
| | | | δ_B кг/мм ² | $\delta\%$ | H_B |
| Дуралюмин | Cu — 4 Mg — 1,5 Mn — 0,6 Si < 0,8 Fe < 0,8 Al — остальное | Отоженный, закаленный, состаренный | 21 | 18 | 42 |
| | | | 46 | 17 | 105 |
| Бериллиевая бронза | Be — 2 | Закаленная, состаренная | 50 | 30 | 100 |
| | | | 30 | 1 | 370 |
| Железо-вольфрамовый | W — 25 Fe — 75 | Закалка, старение | — | — | 180 |
| | | | — | — | 370 |

Процесс дисперсионного твердения сопровождается изменением также и физических свойств, в ряде случаев в такой же значительной степени, что и механических. Дисперсионное твердение представляет собой важный источник получения сплавов с благоприятными сочетаниями свойств, например, высокой прочности при достаточной легкости в сплавах на алюминиевой и магниевой основах, высокой коэрцитивной силы при высокой остаточной индукции в магнитных сплавах и т. д.

Особый интерес для нас представляют сплавы на железной основе, обладающие высокой твердостью и красностойкостью. Естественным является стремление использования этих сплавов для режущего инструмента в связи с общей проблемой литого инструмента. Если в отношении легких сплавов накоплен значительный опыт, то вопрос о режущих дисперсионно-твердеющих сплавах требует своего разрешения.

Настоящая работа ставит своей задачей выявление некоторых особенностей дисперсионно-твердеющих сплавов в связи с использованием их в качестве литого режущего инструмента.

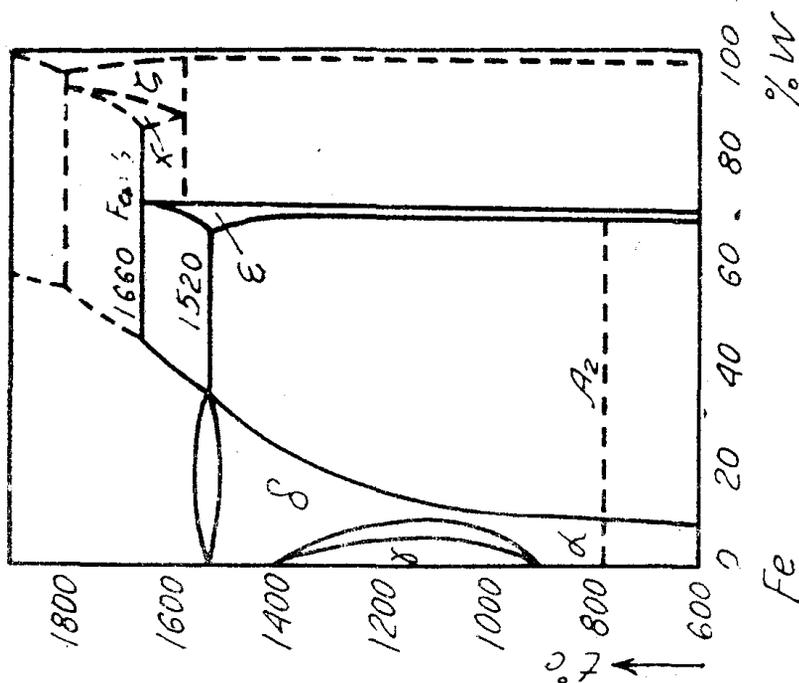
Выбор сплавов

Теоретическое освещение вопроса дисперсионного твердения сплавов все еще остается недостаточным. Имеющиеся теории не находят всестороннего подтверждения и достаточно надежного обоснования. Это обстоятельство затрудняет вопрос конструирования сплавов с необходимыми свойствами.

В простейшем виде процесс дисперсионного твердения наблюдается в двойных системах. В более сложных системах результат дисперсионного твердения будет зависеть от характера взаимодействия компонентов. Всякий дополнительный компонент может привести к изменению взаимной растворимости компонентов или к изменению состава фаз, ограниченно растворимых в твердом растворе, что может привести как к повышению, так и к снижению степени дисперсионного твердения сплавов.

Как правило, появление стойких химических соединений способствует усилению дисперсионного твердения, причем в большей степени в многокомпонентных системах.

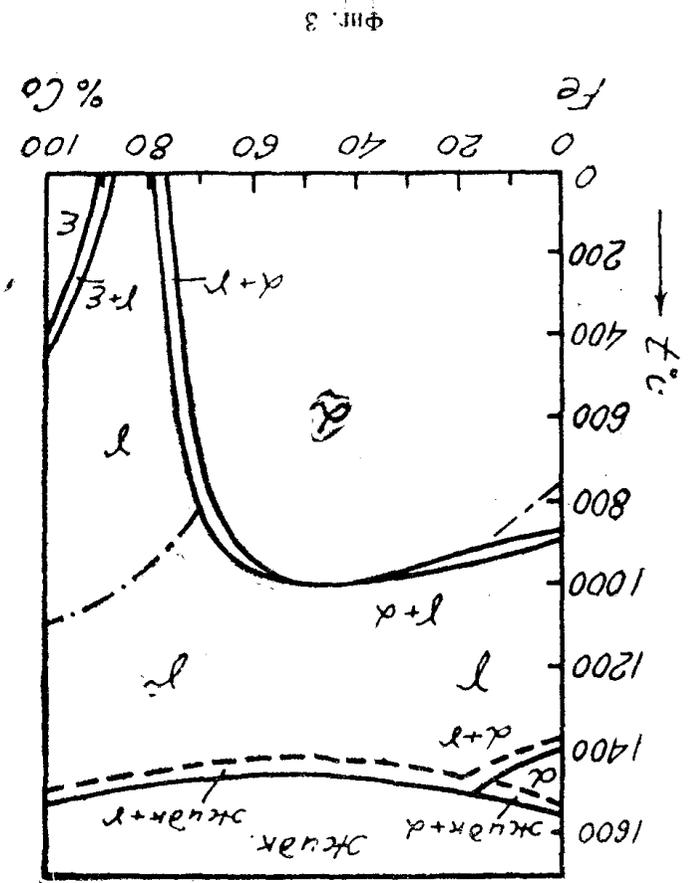
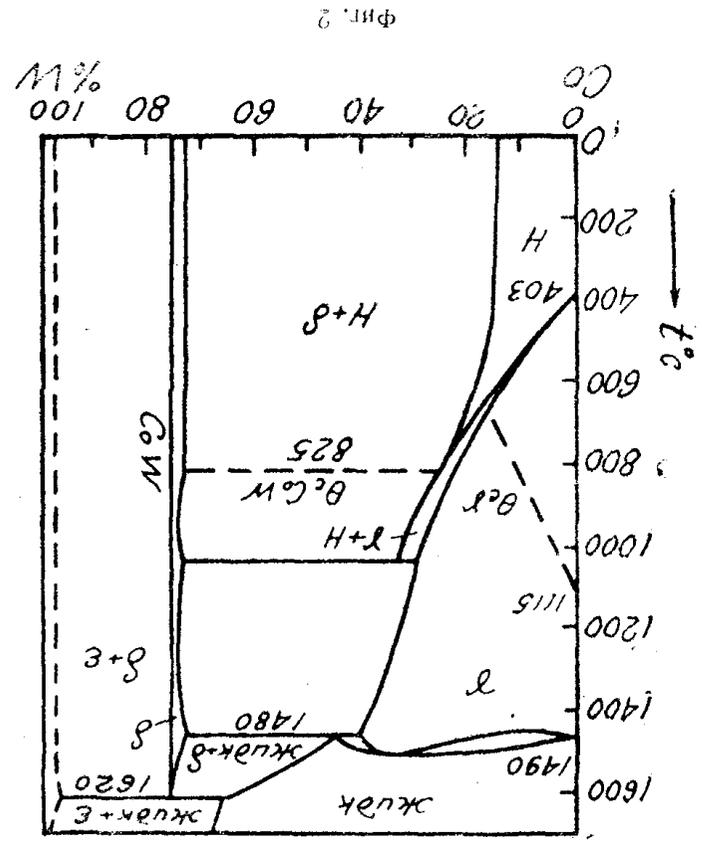
Можно указать значительное число элементов, дающих с железом системы с дисперсионно-твердеющими сплавами. В качестве примера можно привести следующие двойные системы: Fe—C; Fe—O; Fe—N; Fe—Cu; Fe—Ae; Fe—Be; Fe—W; Fe—Mo; Fe—Ti и т. д. Руководствуясь вышепри-



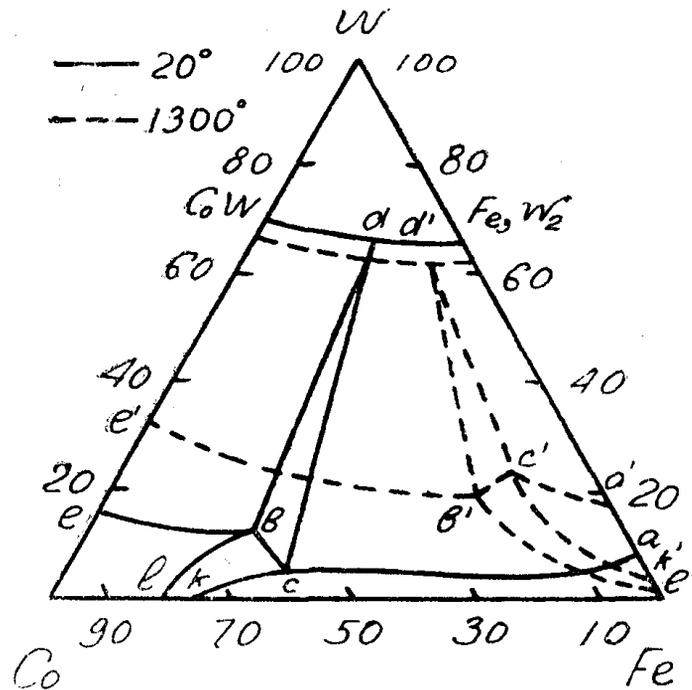
Фиг. 1

веденными соображениями, для исследования были выбраны тройные сплавы Fe—W—Co и Fe—Mo—Co, в которых дисперсионное твердение проявляется в очень сильной степени, на что указывают исследования более раннего периода.

Двойные диаграммы Fe—W, Co—W, Co—Fe (фиг. 1, 2, 3), а также тройная диаграмма Fe—Co—W (фиг. 4) указывают на наличие химических соединений Fe_3W_2 и CoW, являющихся упрочняющими фазами и обуслов-



ливающих в процессе своего выделения дисперсионное твердение сплавов системы Fe—Co—W. Замена вольфрама молибденом дает подобные же диаграммы и аналогичные результаты твердения.



Фиг. 4

Для исследования были взяты в характерных местах тройной диаграммы как однофазные, так и двухфазные сплавы, составы которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Сплав | Состав сплава в % | | | |
|-------|-------------------|----|----|----|
| | W | Mo | Co | Fe |
| 1 | 18 | — | 15 | 67 |
| 2 | 15 | — | 26 | 59 |
| 3 | 17 | — | 15 | 68 |
| 4 | 10 | — | 45 | 45 |
| 5 | — | 20 | 30 | 50 |
| 6 | 20 | — | 70 | 10 |
| 7 | 60 | — | 30 | 10 |
| 8 | 50 | — | 5 | 45 |
| 9 | 50 | — | 20 | 30 |
| 10 | 30 | — | 30 | 40 |

Для подтверждения аналогии поведения вольфрамовых и молибденовых сплавов в процессе дисперсионного твердения один сплав (№ 5) был взят с молибденом.

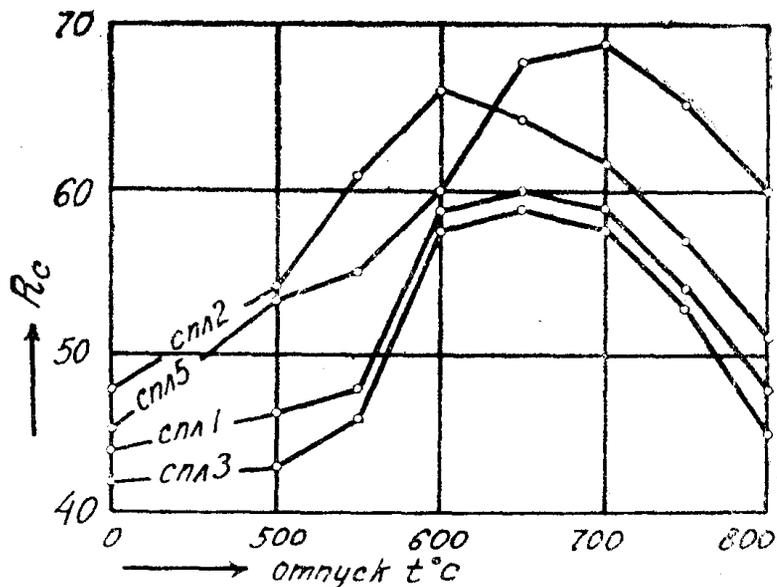
Технология плавки

Плавка производилась в шамотном тигле при индукционном нагреве токами высокой частоты, получаемыми от лампового генератора типа АЗ-46, мощностью 60 кв при 250 000 периодов в сек. Процесс плавки,

во избежание влияния атмосферы, велся под шлаком (расплавленное стекло). Раскисление—алюминием. Отливка производилась в массивную металлическую изложницу, что обеспечивало достаточно большую скорость охлаждения. Отливка ножей для фрез (весом около 100 г) производилась в кокиль. В большинстве случаев структура излома обнаруживала крупнозернистое дендритное строение отлитых образцов.

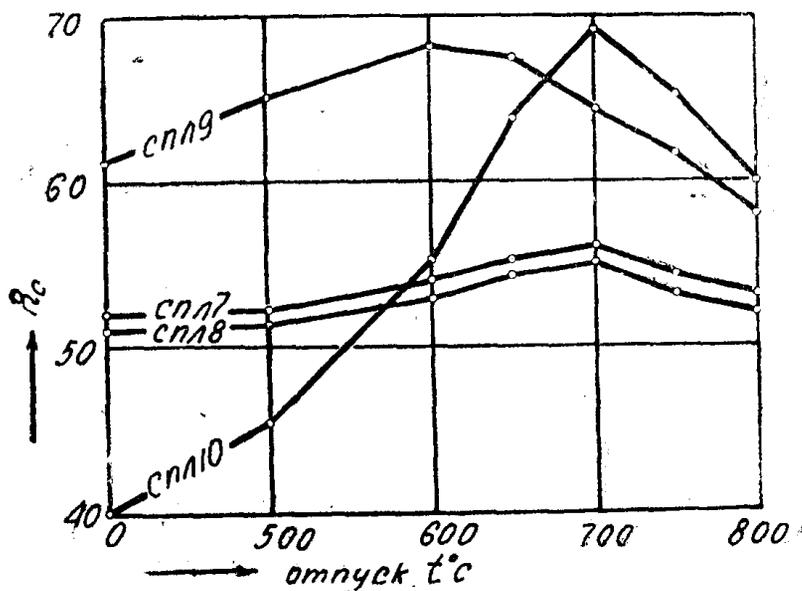
Термическая обработка сплавов

Все сплавы закаливались в процессе отливки в металлическую форму отпусались при различных температурах с целью определения оптимальных температур отпуска, дающих наибольшую твердость. Продолжительность отпуска 1 час.



Фиг. 5

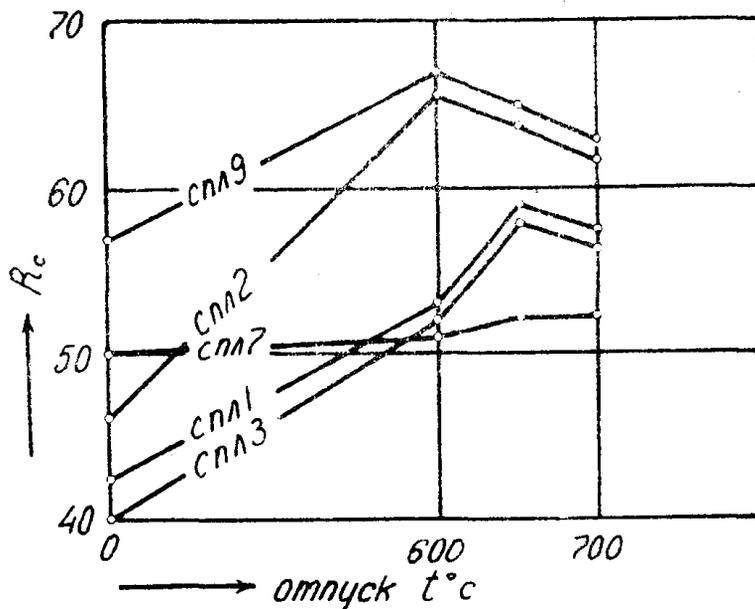
График изменения твердости при различных температурах отпуска сплавов, закалившихся в процессе литья, представлен на фиг. 5 и 6.



Фиг. 6

С целью выяснения возможности закалки, при охлаждении в металлических формах, а также для исключения возможных случайных результатов, все сплавы были отожжены и закалены.

Закалка производилась в хлорбариевой соляной ванне с температуры 1300° после 4-минутной выдержки с охлаждением в масле. Соответствующие результаты для ряда сплавов приведены в графике на фиг. 7.



Фиг. 7

Сопоставление графиков фиг. 5, 6 и 7 приводит к выводу, что закалка в процессе литья и специальная закалка дают весьма близкие результаты, что обуславливает одинаковые результаты твердения в том и другом случае.

В табл. 3 приведены пределы изменения твердости в процессе дисперсионного твердения.

Таблица 3

| Сплав | Твердость по R_c | | Прирост твердости R_c |
|-------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | После закалки при литье | Наибольшая при твердении | |
| 1 | 44 | 60 | 20 |
| 2 | 48 | 66 | 18 |
| 3 | 42 | 59 | 17 |
| 4 | 58 | 61 | 3 |
| 5 | 45 | 69 | 24 |
| 6 | 4 | 15 | 11 |
| 7 | 52 | 56 | 4 |
| 8 | 51 | 55 | 4 |
| 9 | 61 | 68 | 7 |
| 10 | 40 | 69 | 29 |

Наибольший прирост твердости получили сплавы № 10, 5, 1, 2, 3—от 17 до 39 единиц R_c . Состав этих сплавов находится в пределах от 15 до 30% вольфрама и кобальта. Наибольшую твердость показал сплав № 10 состава 30% W и 30% Co.

Наибольшую степень дисперсионного твердения дали сплавы № 10, 5, 9, 2, 1, т. е. те же, что и в предыдущем случае, не считая сплава № 9, состав которого W—50%, Co—20%.

На табл. 4 приведены температуры отпуска, отвечающие наибольшей степени дисперсионного твердения сплавов. Эта температура колеблется в пределах 600—700°.

Таблица 4

| Сплав № | Температура наибольшего твердения С° |
|---------|--------------------------------------|
| 1 | 650 |
| 2 | 600 |
| 3 | 650 |
| 4 | 700 |
| 5 | 700 |
| 6 | 600 |
| 7 | 700 |
| 8 | 700 |
| 9 | 600 |
| 10 | 700 |

В табл. 5 приведены данные твердостей после отпуска в течение 6 часов при температуре 950°.

Таблица 5

| Сплав № | Твердость по R _c |
|---------|-----------------------------|
| 1 | 31 |
| 2 | 35 |
| 3 | 30 |
| 4 | 59 |
| 5 | 50 |
| 6 | 18 |
| 7 | 52 |
| 8 | 49 |
| 9 | 55 |
| 10 | 46 |

Сохранение твердости на высоком уровне при столь высоком и длительном отпуске, а также высокая температура оптимального твердения указывают на высокую красностойкость сплавов систем: Fe—Co—W и Fe—Co—Mo.

Испытание резанием

Данные испытания преследуют цель выявления особенностей поведения характерных сплавов в процессе резания, не претендуя на всестороннюю оценку режущих свойств данных сплавов. С этой целью производилось торцевое фрезерование, предъявляющее достаточно разноплановые и жесткие требования к испытываемым сплавам. Кроме того, использование имеющегося опыта по испытанию литого режущего инструмента позволяет сделать более широкое заключение о режущих свойствах данных сплавов. Для испытания были отлиты в кокиль ножи для торцевых фрез из сплавов № 2 и 10.

Фрезерование производилось на горизонтально-фрезерном станке однозубой фрезой (вставной испытуемый нож) по торцу круглой болванки из ШХ-15, $d=130$ мм, $H_v=180$. Стойкость определялась числом проходов до 1,5 мм износа по задней грани ножа. Эталон служил кованный нож из РФ-1, для которого при режиме резания: $n=48$ об/мин, $S=14$ мм/мин, $t=3$ мм, стойкость выражалась в 7 проходах.

В табл. 6 приведены результаты испытания резанием ножей № 2 и 10 при двух вариантах термической обработки.

Таблица 6

| Нож сплава № | Твердость | Износ по проходам в мм | | | | Примечание |
|--------------|-----------|------------------------|-----|-----|-----|-----------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 2 | 58 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 2,5 | Скол в начале прохода |
| 2' | 64 | 2,2 | | | | |
| 10 | 69 | — | | | | |
| 10' | 66 | 2,5 | — | — | — | |

Результаты испытания резанием указывают на повышенную хрупкость сплавов, что мешает использованию износоупорных качеств литых ножей. На хорошую износоупорность указывает очень мало возрастающий износ на протяжении трех проходов при испытании ножа № 2, при его твердости $R_c=58$. Последнее обстоятельство позволяет сделать заключение о целесообразности изучения данных сплавов при их использовании на спокойных видах работы или применяя при другой геометрии режущего лезвия, что позволит реализовать высокую красностойкость и износоупорность данных сплавов.

Выводы

1. Наибольший эффект дисперсионного твердения дают сплавы № 10, 5, 1, 2, 3, содержащие $W=15 \div 30\%$, $Co=15 \div 30\%$. Твердость достигает $R_c=69$.

2. Большинство полученных сплавов имели резко выраженную хрупкость. Излом крупнозернистый.

3. Испытание торцовым фрезерованием не дало положительных результатов вследствие хрупкости сплавов.

4. Сплавы с высокой степенью дисперсионного твердения обладают высокой износоупорностью и красностойкостью, возможность использования которых требует специального изучения.