

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		
			$\delta_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta\%$	$H_B$
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.

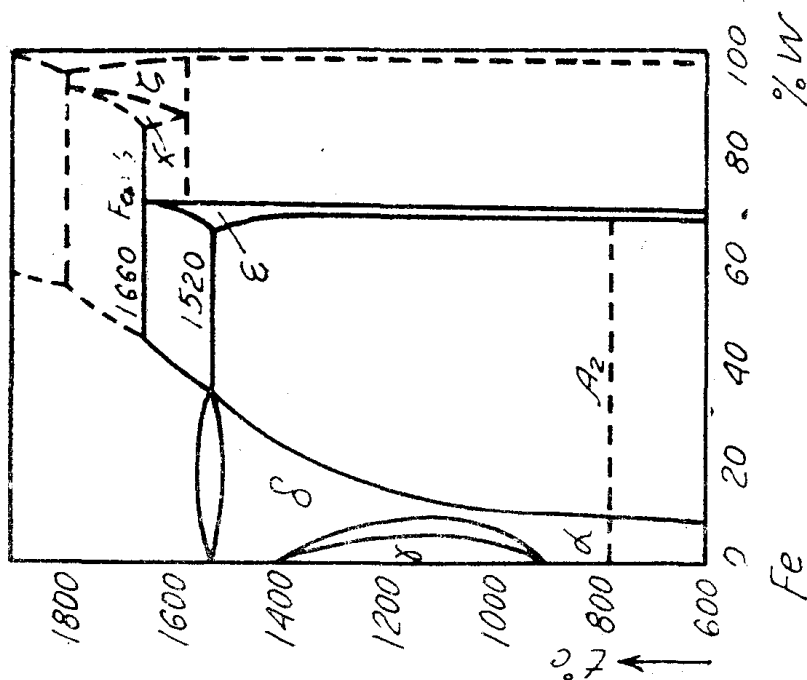
## Выбор сплавов

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.

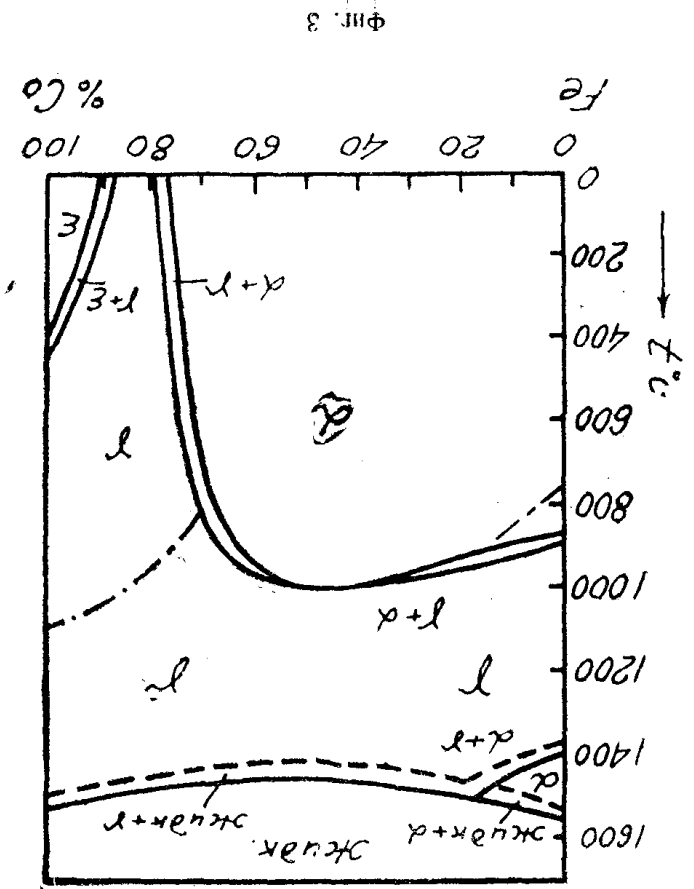
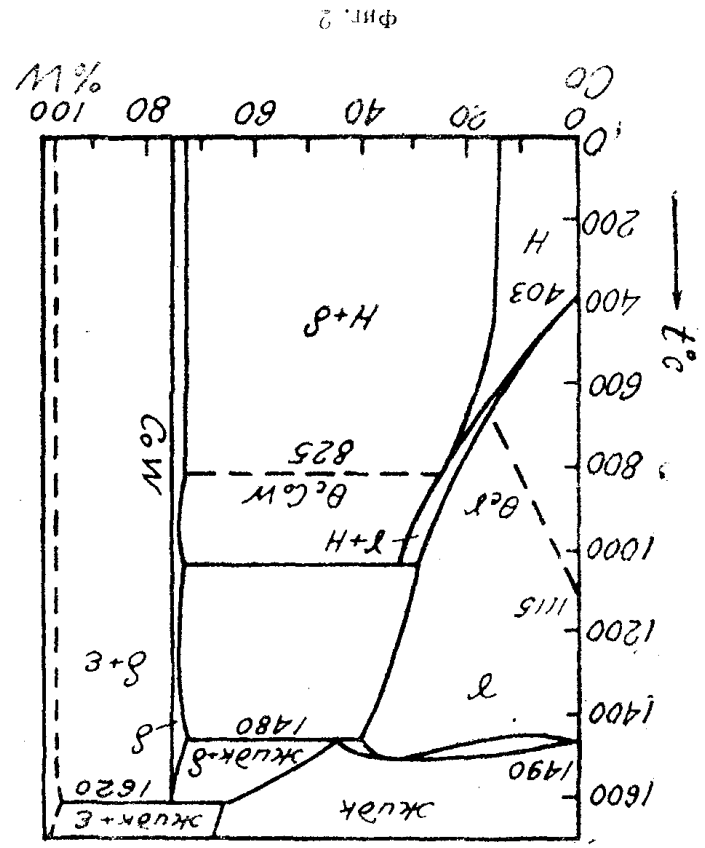
Можно указать значительное число элементов, дающих с железом системы с дисперсионно-твердеющими сплавами. В качестве примера можно привести следующие двойные системы: Fe—C; Fe—O; Fe—N; Fe—Cu; Fe—Ae; Fe—Be; Fe—W; Fe—Mo; Fe—Ti и т. д. Руководствуясь вышепри-



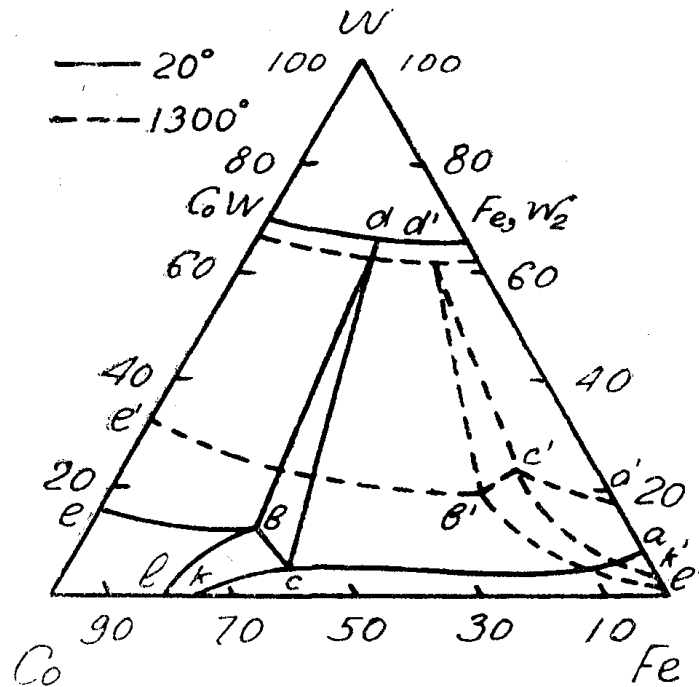
Фиг. 1

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.

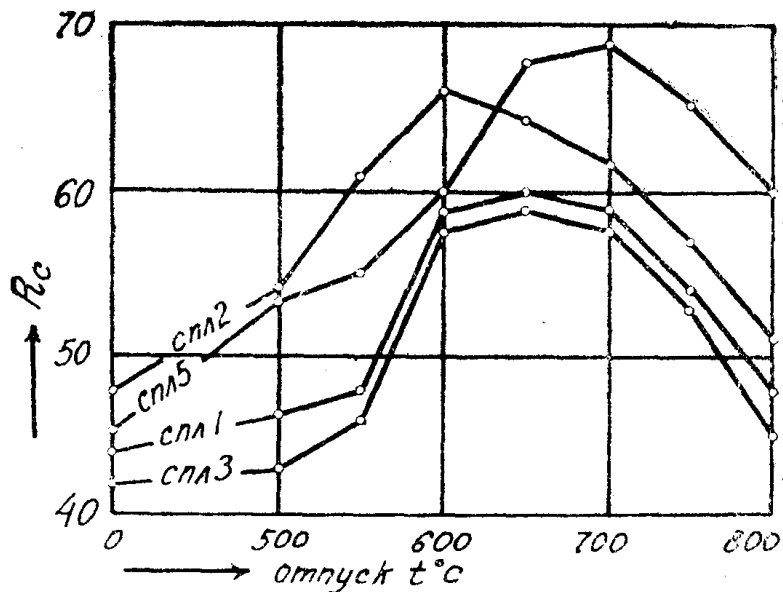
### Технология плавки

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.

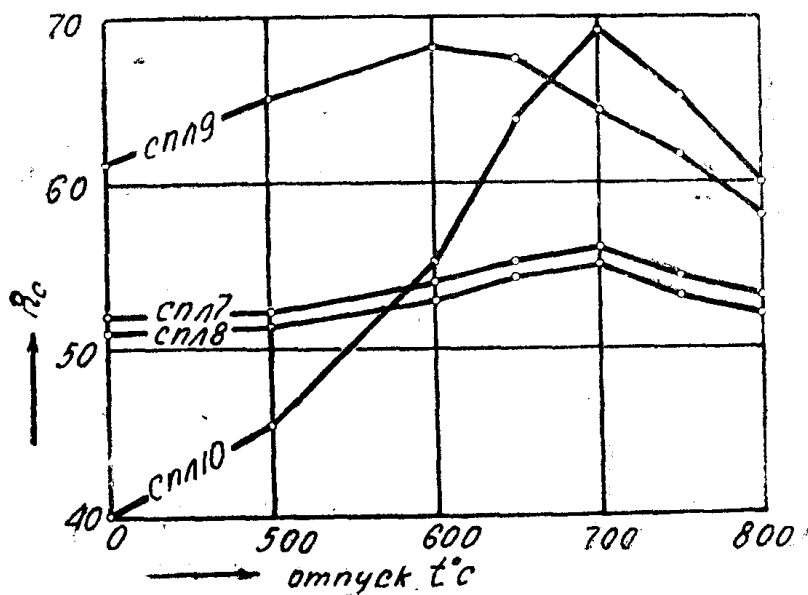
### Термическая обработка сплавов

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



Фиг. 5

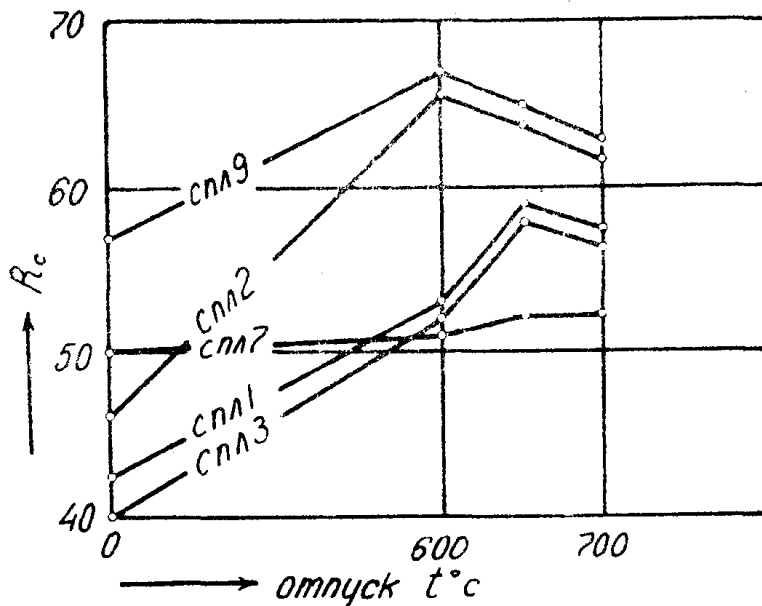
График изменения твердости при различных температурах отпуска сплавов, закалившихся в процессе литья, представлен на фиг. 5 и 6.



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 <sub>c</sub>
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.