

УДК 669.018.25:001 (092)

В.П. Бондаренко, член- корр. НАН Украины, д-р.техн.наук, проф.

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

**М.М. БАБИЧ – ТАЛАНТЛИВЫЙ УЧЕНЫЙ,
КОНСТРУКТОР И ОРГАНИЗАТОР ПРОИЗВОДСТВА**

The paper shows the main scientific reseects, design developments and achieve-ments in the setting up of hard alloy production attained by M. M. Babich, a specialist in the hard alloy technology, well-known in the USSR, Germany and Ukraine.

27 февраля 2008 года исполнилось 100 лет со дня рождения М.М. Бабича, одного из создателей твердосплавного производства в СССР и Украине.

Всю трудовую деятельность ученый посвятил изучению спеченных твердых сплавов, начав активно работать в этой области спустя лишь 13 лет с момента получения первого патента на эти сплавы [1].

Производство твердых сплавов – сложный и многогранный процесс, а эффективность применения этих сплавов высока и в настоящее время. Среди инструментальных материалов твердые сплавы по объемам применения занимают около 45 %.

В то же время твердые сплавы отличаются высокой неоднородностью.

В вышедшей в 1975 году «Неоднородность твердых сплавов по содержанию углерода и ее устранение» [2], М.М. Бабич отмечал, что пластины одной марки сплава в одинаковых условиях работы различаются эксплуатационной стойкостью в 3–5 раз. В результате эксплуатационная стойкость многолезвийного инструмента определяется не средней стойкостью всех пластин, а минимальной стойкостью отдельной пластины.

Из более 30 производственных переделов и операций в производстве твердых сплавов наиболее ответственным и сложным является спекание, при котором протекают многочисленные недостаточно изученные физико-химические процессы, существенно влияющие на состав, структуру и свойства твердых сплавов.

На неоднородность свойств спеченных твердых сплавов влияют многие факторы, в частности колебания содержания кобальта, свободного и связанного углерода, кислорода. Однако, по мнению М.М. Бабича наиболее сильное влияние неоднородности по содержанию углерода, так как, например, увеличение связанного углерода на 0,12 % (по массе) в двухфазном сплаве ВК6 приводит к двукратному уменьшению его износостойкости, что соответствует увеличению содержания Со примерно на 2 % (по массе).

Этот вывод М.М. Бабича подтвердился данными, полученными Г.С. Креймером и М.Р. Ваховской (рис. 1, 2) [3].

В этой связи изучению причин неоднородности твердых сплавов по содержанию углерода, ее влиянию на происходящие при спекании процессы, и на свойства сплавов ученый посвятил большую часть трудовой деятельности.

Еще в молодые годы с 1935 году после окончания Московского института цветных металлов и золота на МКТС, М.Бабич возглавлял металлографический отдел ЦЗЛ этого комбината и начал работу над тройными диаграммами состояния W–Co–C и W–Ni–C.

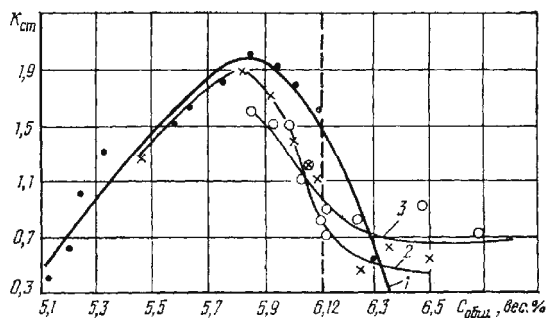


Рис. 1. Влияние содержания C в порошке исходного WC на относительную износостойкость K_{cm} сплава $WC8$ при резании чугуна: 1-3 – партии порошка WC (штриховая линия соответствует двухфазному сплаву $WC-Co$ (отсутствуют графит и η -фаза))

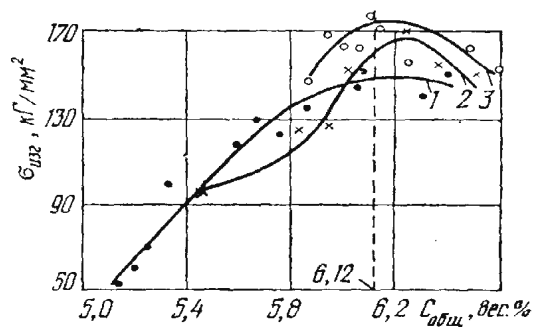


Рис. 2. Зависимость предела прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ сплава $WC8$ от содержания C в порошке исходного WC (обозначения те же, что на рис. 1)

До этого в 1930 г. Л. Вимен и Ф. Келли [4] исследовали структуру сплавов кобальта с 5-95 % (по массе) WC , спеченных при температуре $1400^\circ C$ и показали, что в системе $WC-Co$ наблюдается эвтектика с $T_{пл} \approx 1400^\circ C$, значительная растворимость WC в твердом кобальте, существенное увеличение размеров зерен WC и их перекристаллизация в процессе спекания.

В 1931 году В. Сайкс [5] привел ряд новых данных о структуре твердых сплавов, схематическую тройную диаграмму состояния, на которой указаны температуры плавления бинарных и псевдобинарных эвтектик, и ориентировочный состав тройного соединения W_2Co_2C .

В 1933 году А.А. Бочвар [6] опубликовал гипотетическую диаграмму состояния, которая впоследствии не подтвердилась.

В 1934 году А.М. Корольков и А.М. Лавлер [7] подтвердили данные, полученные Виманом, Келли, а также Сайкса о растворимости WC в Co и образовании псевдобинарной эвтектики $WC+Co$.

Приведенных данных было явно недостаточно для научно обоснованного построения технологии твердых сплавов. В этой связи в 1936 году М.М. Бабич [2] вместе с сотрудниками МКТС начал работы по исследованию тройных систем $W-Co-C$ и $W-Ni-C$.

В этом же году в научных отчетах Токийского университета [8] С. Такеда опубликовал проекцию пробной диаграммы $W-Co-C$ на концентрационный треугольник (рис. 3), изотермический разрез диаграммы при температуре $1400^\circ C$ (рис. 4) и вертикальные разрезы по линии $WC-Co$ при стабильной (рис. 5 а) и метастабильной (рис. 5 б) кристаллизациях.

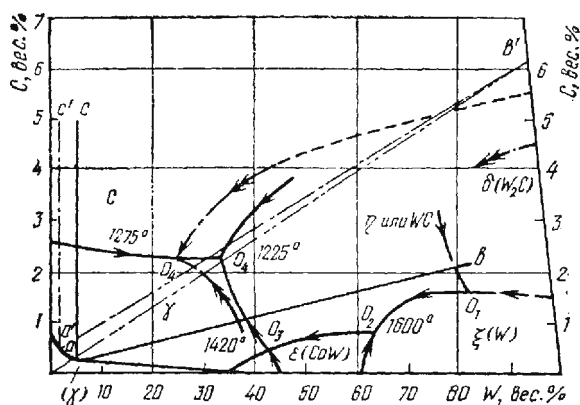


Рис. 3. Пробная диаграмма состояния системы $W-C-Co$

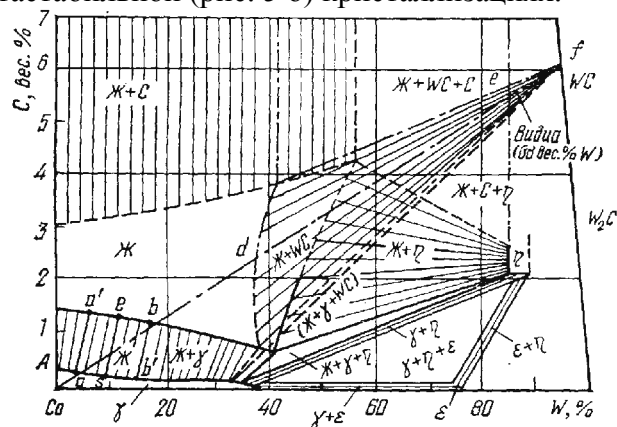


Рис. 4. Изотермический разрез тройной диаграммы состояния системы $W-C-Co$ при температуре $1400^\circ C$

При этом диаграмма Такеда была неполной вследствие отсутствия на ней области двухфазных сплавов WC-Co, при этом обнаружено только одно тройное соединение – η_1 -фаза, не определен точный состав этого соединения, не точно определены условия и особенности стабильной и метастабильной кристаллизаций.

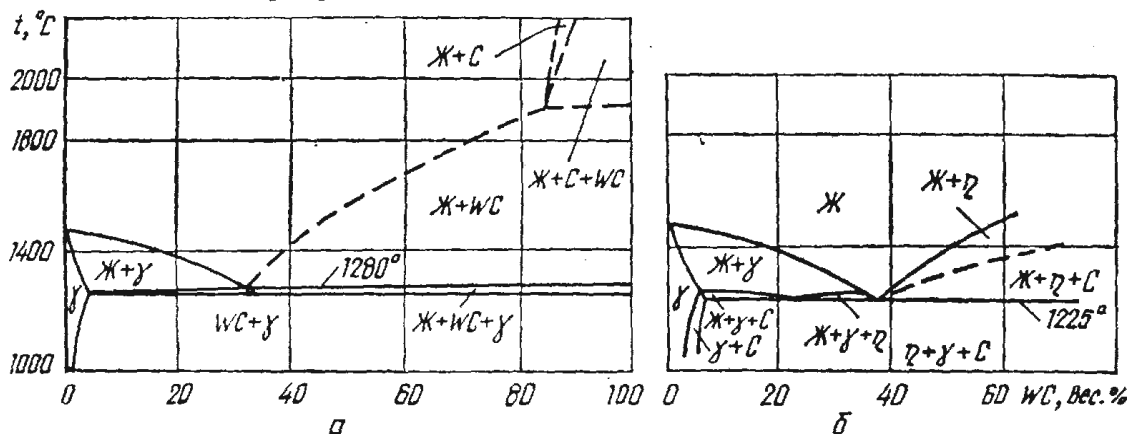


Рис. 5. Вертикальный разрез диаграммы состояния системы W-Co по линии Co-WC при кристаллизации: а – стабильной; б – метастабильной

М.М. Бабиц при построении тройных диаграмм W-Co-C и W-Ni-C получил полуспеченные, спеченные и переплавленные образцы в широком интервале концентраций компонентов и исследовал их металлографическим, рентгеновским, магнитным, дилатометрическим, термохимическим и дюрOMETрическим методами анализа. Многие исследования проводили при использовании H_2 , вакуума, N_2 . Столь глубокие и всесторонние исследования позволили М.М. Бабицу установить новые фазы и определить их свойства, обосновать условия стабильной и метастабильной кристаллизаций, изучить закономерности кристаллизации сплавов эвтектического типа, построить вертикальные разрезы и тройные диаграммы W-Co-C и W-Ni-C в целом (рис. 6, 7).

К сожалению, полученные результаты не были опубликованы, вероятно, вследствие секретности и предвоенного положения в СССР. Только в 1962 году В.И. Третьяков [9] опубликовал тройные диаграммы W-Co-C, построенные М.М. Бабицем, и диаграмму W-Ni-C, построенную Бабицем и Гарьяновым (со ссылкой на авторов).

Следует подчеркнуть, что в зарубежной литературе после публикации Такеда сведения о тройных диаграммах W-Co-C и W-Ni-C опубликовали Станфорд и Трент [10] в 1947 году, а также Раутал и Нортон [11] в 1952 году, подтвердив результаты исследований М.М. Бабица. В этой связи, предложенные В.И. Третьяковым тройные диаграммы, построенные на основании совокупности опубликованных разными исследователями работ, практически не отличаются от диаграмм Бабица и Гарьянова.

Для металловедения твердых сплавов большое значение имеют содержащиеся в монографии [2] сведения о стабильной и метастабильной кристаллизации сплавов в системе W-Co-C, об основных вертикальных разрезах (рис. 8-11) этой системы, о ширине двухфазной области γ +WC по содержанию углерода, о процессах кристаллизации сплавов эвтектического состава.

Все эти данные являются солидной фундаментальной основой для разработки новых технологий производства изделий из твердых сплавов.

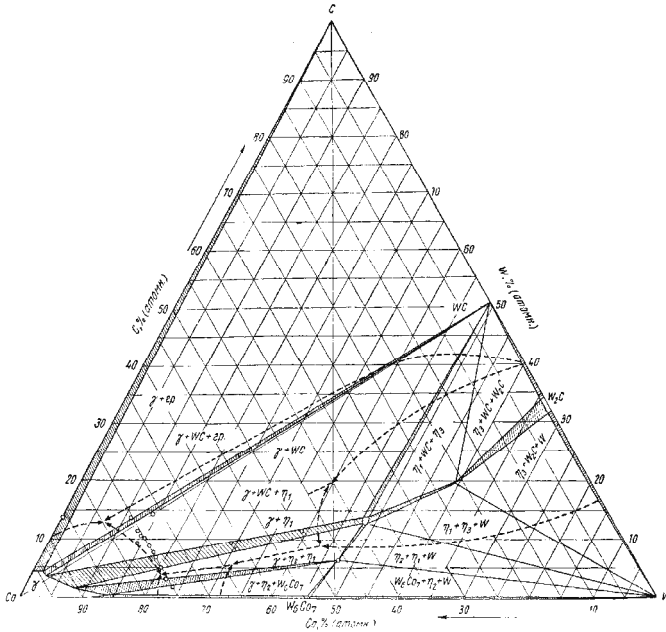


Рис. 6. Диаграмма состояния системы W–C–Co по М. М. Бабичу

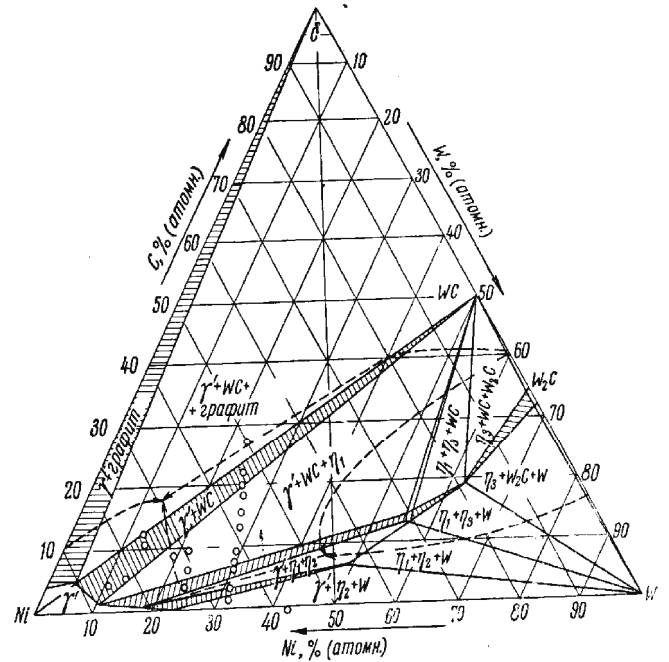
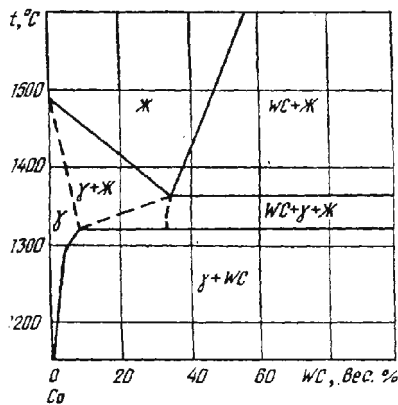
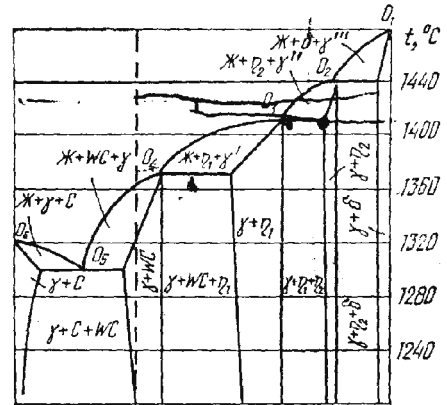


Рис. 7. Проекция диаграммы состояния системы W–C–Ni на концентрационный треугольник по Бабичу и Гарьянову

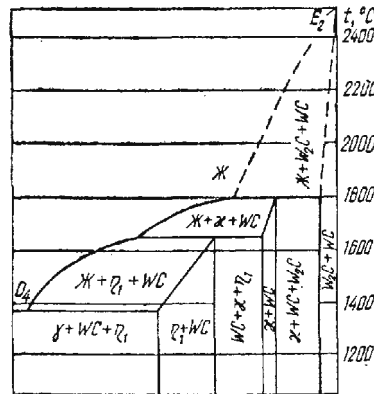


а

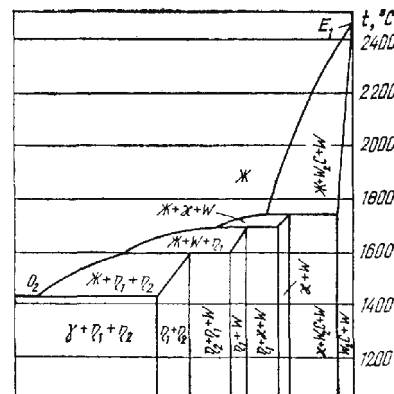


б

Рис. 8. Схемы вертикального разреза диаграммы состояния системы W–C–Co по линиям: а – Co–WC; б – ломаной линии O₆–O₅–O₄–O₃–O₂–O₁



а



б

Рис. 9. Участки схемы вертикального разреза диаграммы состояния системы W–C–Co по линиям: а – E₂O₄; б – E₁O₂

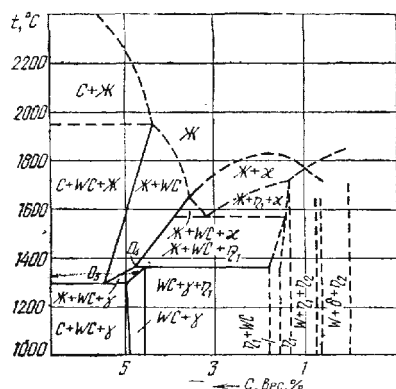


Рис.Рис. 10. Схема вертикального разреза диаграммы состояния системы W–C–Co через углеродный угол и точку на линии Co–W, соответствующую содержанию 21 вес. % Co

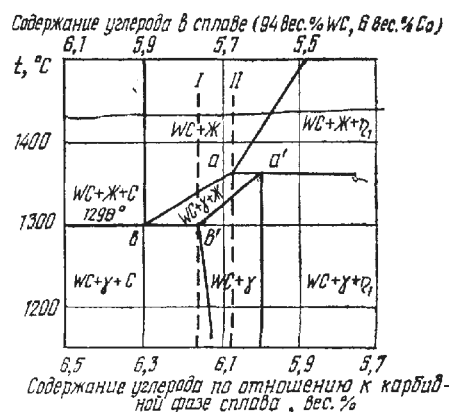


Рис. 11. Участок вертикального сечения диаграммы состояния системы W–C–Co через углеродный угол для соотношения W:Co, соответствующего содержанию 6 мас. % Co в сплаве WC–Co

Особо важное значение для технологов имеют проведенные М.М. Бабичем исследования процессов, происходящих при усадке твердых сплавов. Эти исследования были выполнены с помощью разработанного ученым и изготовленного на Опытном заводе ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины многопозиционном дилатометре (рис. 15), на котором в абсолютно одинаковых условиях можно изучать одновременно поведение нескольких сплавов, что очень важно при выявлении и сравнении особенностей усадки в этих сплавах.

Результаты исследований М.М. Бабича о закономерностях усадки твердых сплавов, составы которых приведены в таблице 1, показаны на рис. (12–22).

Из данных приведенных на рис.12–22, видно, насколько сложны и многообразны процессы, происходящие при усадке твердых сплавов, как сильно влияют на них небольшие изменения содержания исходных компонентов, технологические особенности производства одних и тех же марок твердосплавных смесей, изготовляемых разными заводами, скорость нагревания образцов при спекании, дисперсность смесей, исходная пористость прессовок, содержание кобальта и углерода в смесях, каучука в замешанной смеси, твердого раствора (W, Ti)C.

Химический состав смесей стандартных сплавов

Марка смеси	Номер партии	Изготовитель смеси	Химический состав, вес. %				
			Co	Ti	C _{общ}	C _{св}	O ₂
ВК2	1253	«Победит»	2,04	–	5,85	0,03	0,33
ВК3	499		3,12	–	5,70	0,06	0,28
ВК6	6049	МКТС	5,86	–	5,58	0,05	0,27
ВК6	191	«Победит»	5,76	–	5,47	0,06	0,30
ВК6	521		5,88	–	5,71	0,04	0,35
ВК6	6064	УзКТЖМ	5,82	–	5,87	0,05	0,16
ВК6М	696	ВНИИТС	6,00	–	5,62	0,05	0,27
ВК6М	6104	МКТС	5,99	–	5,70	0,07	0,42
ВК6В	2296	«Победит»	5,90	–	5,76	0,15	0,39
ВК8В	1128		8,20	–	5,58	0,12	0,32
ВК8В	9170	УзКТЖМ	8,45	–	5,58	0,03	0,16
ВК10М	658	«Победит»	9,84	–	5,30	0,04	0,32
ВК15	15199	МКТС	14,17	–	5,13	0,05	0,20
ВК15	15019		14,76	–	5,09	0,05	0,20

ВК15	1894	«Победит»	14,40	—	5,16	0,05	0,21
ВК15	15032	УзКТЖМ	14,34	—	5,34	0,04	0,10
ВК15	15202		14,07	—	4,92	0,03	0,13
ВК20	2320	«Победит»	20,34	—	4,82	0,06	0,41
ВК30	30002	ВНИИТС	29,66	—	4,24	0,02	0,38
Т15К6	6027		5,94	12,00	7,53	0,06	0,42
Т15К6	6028		5,87	12,60	7,57	0,06	0,48
Т15К6	461	МКТС	5,79	12,80	7,71	0,13	0,12
Т15К6	457		5,79	12,82	7,80	0,13	0,22
Т15К6	463		5,63	12,80	7,70	0,13	0,17
Т15К6	451		5,94	12,81	7,56	0,13	0,15
Т15К6	87		5,69	12,60	7,50	0,13	0,25
Т15К6	1277		5,82	12,80	7,50	0,06	0,22
Т30К4	81		4,37	22,00	9,23	0,18	0,24
Т5К10	209		«Победит»	9,10	5,02	6,10	0,06

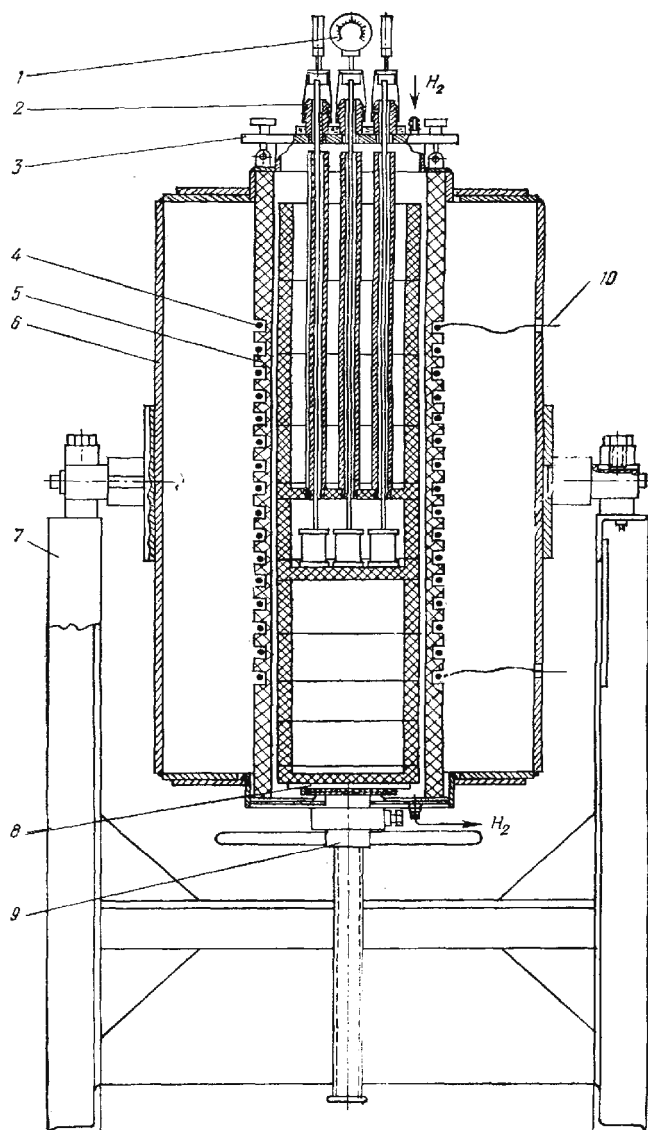


Рис. 12. Схема установки для изучения процесса усадки

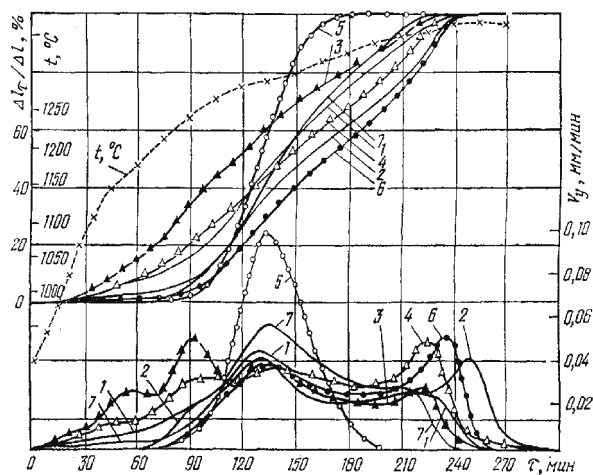


Рис. 13. Зависимости относительной усадки и скорости усадки от длительности спекания: 1 – ВК6 (партия 6049, МКТС); 2 – ВК6 (партия 191, «Победит»); 3 – ВК6М (партия 696, ВНИИТС); 4 – ВК6М (партия 6104, МКТС); 5 – ВК8В (партия 1128, «Победит»); 6 – ВК8В (партия 9170, УзТЖМ); 7 – ВК15 (партия 15193 МКТС)

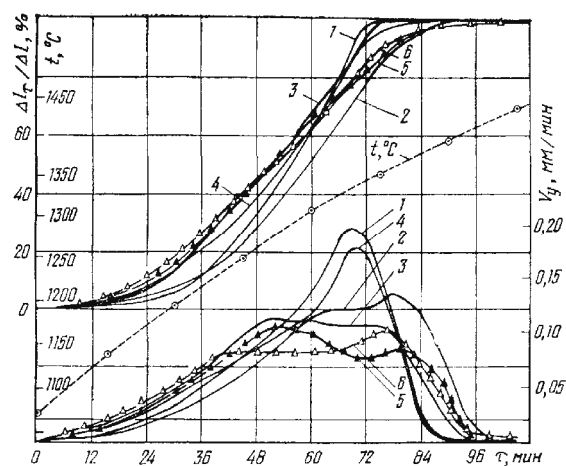


Рис. 14. Зависимости относительной усадки и скорости усадки от длительности спекания при средней скорости нагревания 5 %/мин: 1 – ВК8В (партия 1128, «Победит»); 2 – ВК8В (партия 9170, УзКТЖМ); 3 – ВК15 (партия 15 032, УзКТЖМ); 4 – ВК15 (партия 1894, «Победит»); 5 – ВК6 (партия 6064, УзКТЖМ); 6 – ВК6 (партия 521, «Победит»)

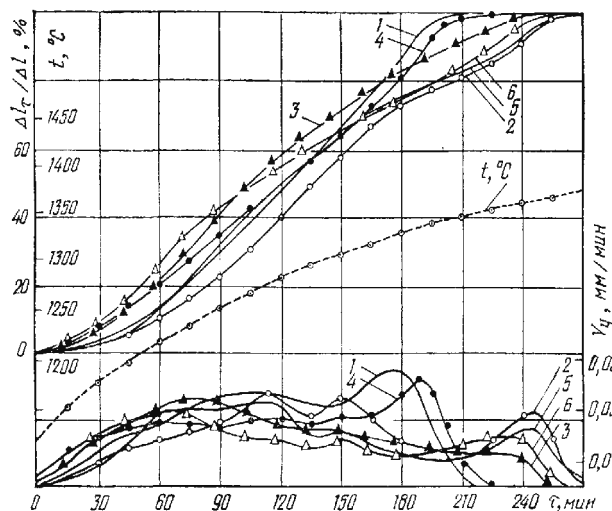


Рис. 15. Зависимости относительной усадки и скорости усадки от длительности спекания при средней скорости нагревания 1,5 °С/мин (обозначения те же, что на рис. 14)

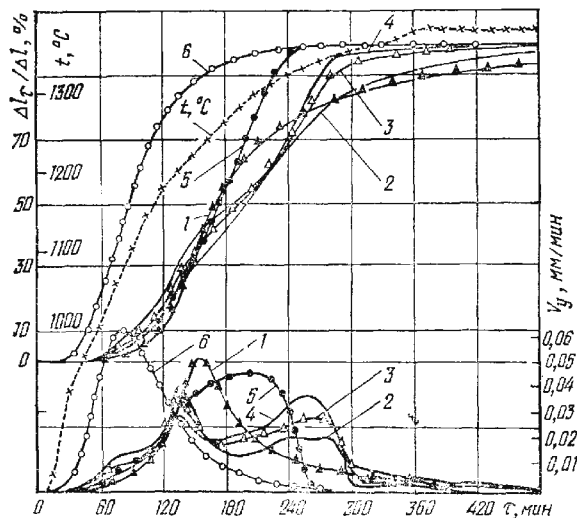


Рис. 16. Зависимости относительной усадки и скорости усадки от длительности спекания: 1 – WC; 2 – ВК2 (партия 1253); 3 – ВК6 (ВК2 партия 1253+Co); 4 – ВК15 (партия 1894); 5 – ВК30 (партия 30002); 6 – Co

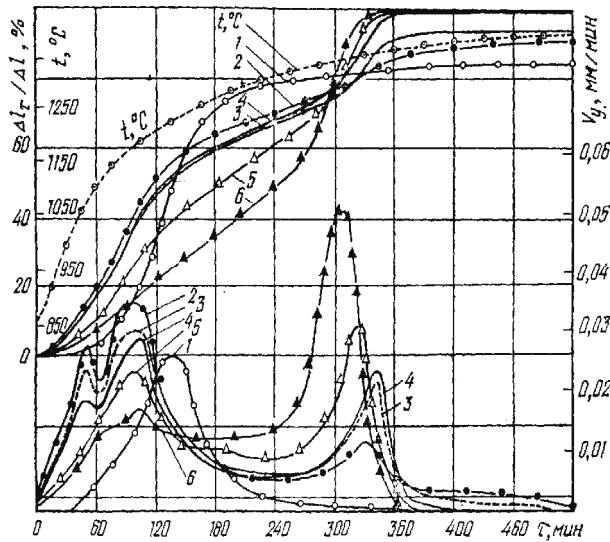


Рис. 17. Зависимости относительной усадки сплавов с различным содержанием Со от длительности спекания: 1 – WC; 2 – BK2 (партия 1253, «Победит»); 3 – BK4; 5 – BK15; 6 – BK25

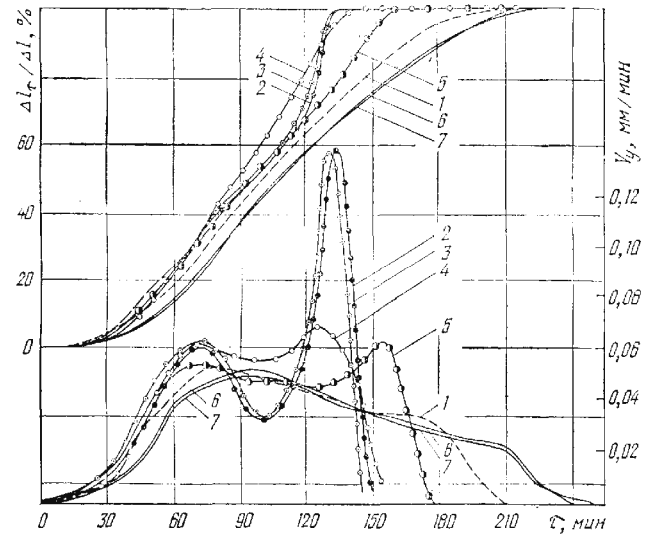


Рис. 18. Зависимости относительной усадки от длительности спекания брикетов из смеси BK15 (партия 15 019, MKTC) (1) и с подшихтовкой (2 – 0,8 вес. % C; 3 – 0,67 вес. % C; 4 – 0,5 вес. % C; 5 – 0,25 вес. % C; 6 – 0,3 % вес. W; 7 – 3 вес. % W)

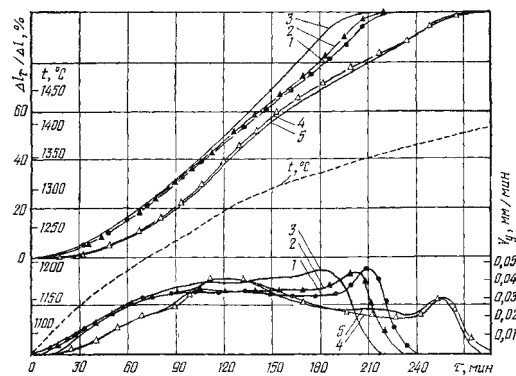


Рис. 19. Влияние содержания каучука в смеси (вес. %) на усадку сплава BK15 для партий 1894 (1 – без каучука; 2 – 0,4, 3 – 1,2) и 15202 (4 – 0,4; 5 – 1,2)

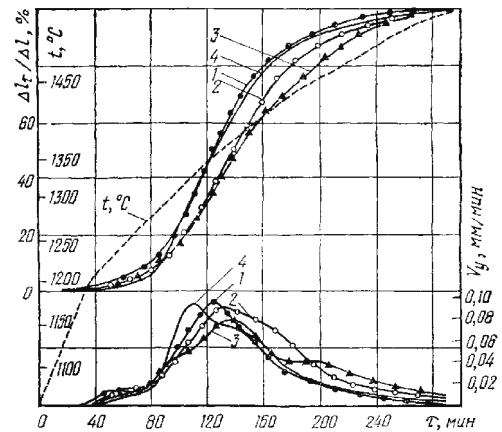


Рис. 28. Зависимости относительной усадки прессовок из сплавов различных марок группы ТК от длительности: 1 – T30K4 (партия 81, MKTC); 2 – T15K6 (партия 1277, MKTC); 3 – T14K8 (партия 135, MKTC); 4 – T5K10 (партия 209, «Победит»)

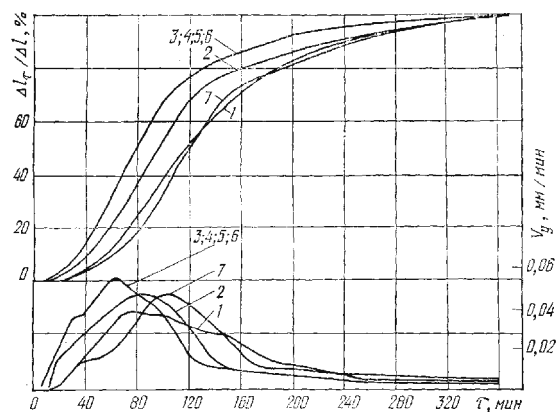


Рис. 21 Зависимости усадки брикетов из различных партий сплава T15K6, изготовленных ВНИИТС (1 – 6027, 2 – 6028) и МКТС (3 – 461, 4 – 457, 5 – 463, 6 – 451, 7 – 1277) от длительности спекания

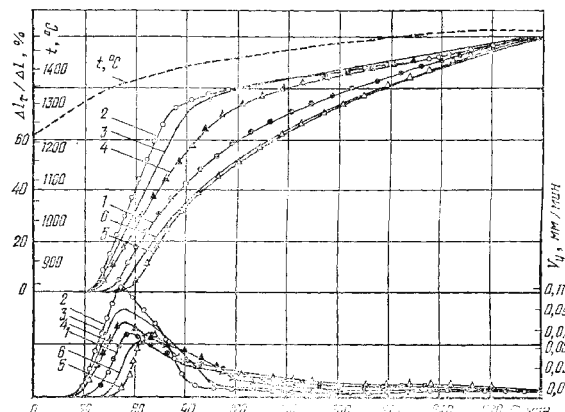


Рис. 22. Зависимости от длительности спекания относительной усадки брикетов из смеси T15K6 без подшихтовки (1) и с подшихтовкой (2 – 0,6 % C; 3 – 0,4% C; 4 – 0,2%; 5 – 2,5% W; 6 – 7,5% W)

Полученные данные используют как технологи, так и теоретики, работающие в области твердых сплавов.

Значительный интерес вызывают данные М.М. Бабича о зависимости коэрцитивной силы различных твердых сплавов от температуры нагревания при спекании (рис. 23). Он установил наличие двух минимумов и максимумов на кривой $H_{CM}=f(T)$. М.М. Бабич четко обосновал это явление. Первый минимум обусловлен рекристаллизацией зерен кобальта. Последующее повышение H_{CM} обусловлено растворением W и C в Co. Снижение H_{CM} после первого максимума обусловлено увеличением размеров зерен WC и Co в твердой фазе. Второй максимум обусловлен расплавлением эвтектики WC+Co и образованием при этом более тонких прослоек Co-фазы. Снижение H_{CM} после второго максимума обусловлено увеличением размеров зерен WC и соответственно утолщением прослоек Co-фазы.

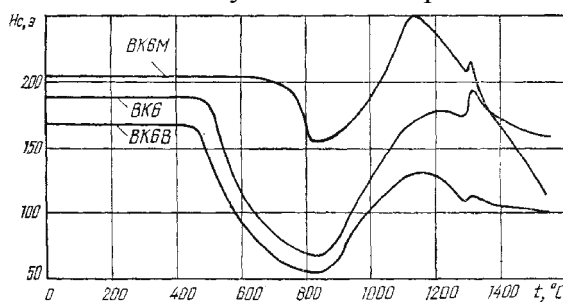


Рис. 23. Зависимости коэрцитивной силы H_{CM} от температуры изотермического спекания (выдержка 4 ч)

М.М. Бабич определил H_{CM} порошков чистого кобальта и твердосплавных смесей и указал, что Co в смеси находится в состоянии предельного наклепа, поэтому H_{CM} смесей выше, чем спекенного сплава той же марки, хотя напряжения в прослойках Co-фазы в спекенном сплаве близки к его пределу текучести.

Значительное внимание М.М. Бабич уделял процессам окисления кобальта в смесях и восстановления его при нагревании прессовок в H_2 , разложения каучука и образовавшихся углеводородов в порах прессовки, обезуглероживания поверхности прессовок влажным водородом и появления в сплаве η_1 -фазы, а также влиянию состава и среды спекания на особенности увеличения размеров зерен WC, перераспределение жидкой фазы при спекании слоистых прессовок и стыковой сварке спекенных твердосплавных пластин.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что М.М. Бабич был ученым-металловедом высокого класса. Недаром после защиты кандидатской диссертации в тот же день на том же ученом совете ИПМ им. И.Н. Францевича НАН Украины разрешили защищать также докторскую диссертацию. Только нескольких голосов не хватило, чтобы М.М. Бабич в один день стал и кандидатом, и доктором наук.

Глубокие знания металлостроения твердых сплавов и процессов, происходящих при их спекании, позволили ему успешно решать также технологические вопросы производства твердых сплавов.

Ученый предложил и внедрил в производство несколько способов спекания: двустадийное стационарное спекание в восстановительно-науглероживающей среде (предварительное спекание в среде H_2 до температуры 700–1000 °С и окончательное спекание в среде N_2+CO); прямое одностадийное стационарное спекание в восстановительно-науглероживающей газовой среде (спекание в науглероживающей засыпке в среде H_2 или N_2+CO); стационарное спекание в вакуумных или водородно-вакуумных печах; поточное спекание в одно- и многозонных печах в восстановительно-науглероживающей газовой среде (водород + углеводороды, образующиеся в результате взаимодействия H_2 с С графитового контейнера и засыпки).

Вершиной его технологических достижений в производстве твердых сплавов явилось создание двустадийного способа спекания, базирующегося на глубоком знании диаграммы равновесия $W-Co-C$. Первая стадия – нормализующее спекание – осуществлялась в среде H_2 в засыпке из графитовой крупки при температуре ниже $T_{пл}$ тройной эвтектики $W-Co-C$. При этом в прессовках обеспечивается предельно возможное для двухфазной области $WC-Co$ содержание углерода. Вторая стадия осуществляется в нейтральной засыпке в вакууме в среде инертных газов, азота или осушенного водорода. Применение такого способа гарантирует стабильное получение двухфазных твердых сплавов с содержанием углерода, близким к верхней границе двухфазной области, а соответственно и стабильное обеспечение структуры и физико-механических свойств твердых сплавов.

Для реализации этих способов М.М. Бабич разработал несколько конструкций печей:

двухзонную печь с керамическими муфелями и молибденовым нагревателем и независимой регулировкой температуры (рис. 24) (внедрена в 1953 году на МКТС);

двухзонную печь с графитовым нагревателем в высокотемпературной зоне и нихромовым нагревателем в низкотемпературной зоне с возможностью подачи дополнительного H_2 в первую зону (внедрена в 1952 году на заводе «Победит»);

вертикальные печи с алундовой трубой и молибденовым нагревателем (рис. 25) с диаметром рабочего пространства 200, 300 и 350 мм (внедрены на Опытном заводе ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины и нескольких участках твердых сплавов);

горизонтальные трехзонные трубчатые и муфельные печи с безопасными загрузочной и разгрузочной камерами (рис. 26);

колпаковая печь с молибденовым нагревателем с диаметром рабочего пространства 500 мм.

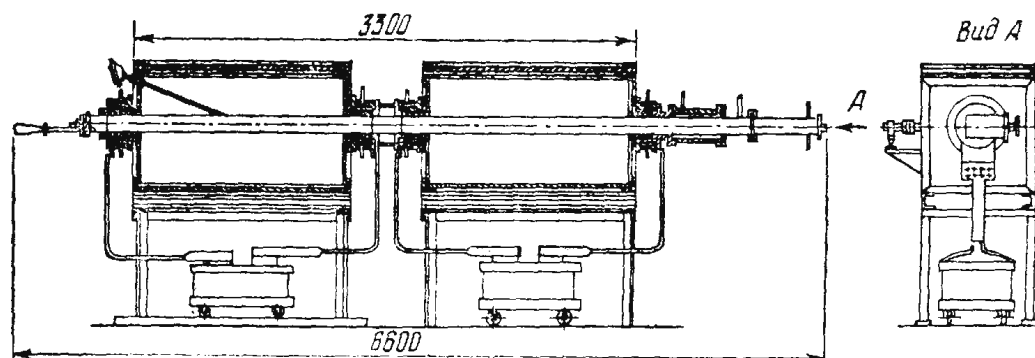


Рис. 24. Схема двухзонной печи с керамическим муфелем и молибденовым нагревателем

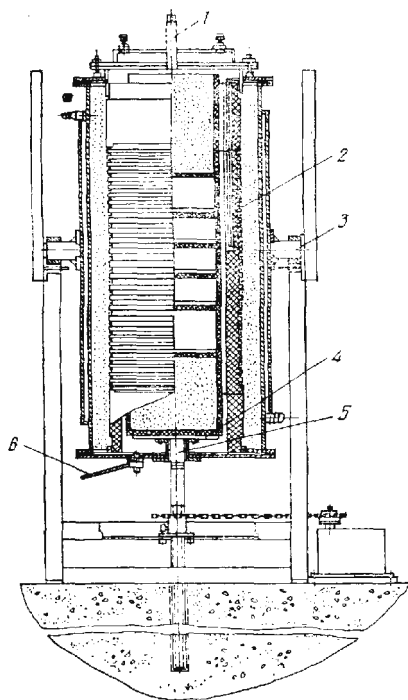


Рис. 25. Схема вертикальной печи ВП200

Последние две конструкции печей внедрены на Опытном заводе ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

В приведенных разработках проявилась вторая грань интеллекта М.М. Бабича – конструкторская. Проектирование этих печей осуществлялось при его внимательном наблюдении. Он вникал в конструирование не только печи в целом, но и узлов и даже отдельных деталей. Все это обеспечивало высокую работоспособность новых конструкций печей уже на стадии экспериментальных образцов, сокращало затраты времени на их доводку и организацию выпуска опытных партий оборудования.

Все эти печи до сих пор работают на ГНПП «Алкон-твердосплав» алмазного концерна «АЛКОН».

Третья грань интеллекта М.М. Бабича проявилась в его высоких организаторских способностях он участвовал в создании лаборатории и работал в ней. Впоследствии работал начальником участка на Кировградском заводе твердых сплавов, а также главным инженером акционерного общества в Германии. Однако особенно ярко эта грань проявилась во время работы главным инженером, а затем директором завода «Победит». Здесь он также разрабатывал, налаживал и запускал в промышленную эксплуатацию новое оборудование, технологические процессы и различные виды продукции. Наиболее крупными являются разработки печи с вращающейся трубой для прокали и восстановления окислов вольфрама и молибдена, печи для обжига молибденовых концентратов в кипящем слое, организация переочистки вольфрамовых соединений с получением на конечной стадии паравольфрамата аммония [12] и др. Многие из приведенных разработок

М.М. Бабича были впоследствии освоены другими заводами СССР. Они на много лет опередили подобные разработки за рубежом.

Кроме упомянутых результатов исследований и разработок М.М. Бабич занимался вопросами гидростатического и вибропрессования крупногабаритных твердосплавных заготовок, стыковой сварки длинных (до 1,5 м) твердосплавных пластин [13], перераспределению жидкой фазы при спекании слоистых прессовок [14], систем осушивания водорода, используемых при спекании твердых сплавов, предотвращения попадания пыли и тополиного пуха в твердосплавные смеси, обеспечению безопасной работы на водородных печах спекания, методов контроля качества спеченных твердосплавных изделий.

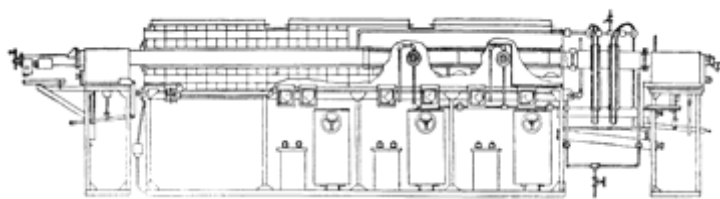


Рис. 26. Схема горизонтальной трехзонной трубчатой печи

Накопленный опыт и знания, полученные упорным, кропотливым трудом, М.М. Бабич передавал своим ученикам, которые впоследствии стали крупными организаторами твердосплавного производства, учеными, преподавателями, среди них – бывший генеральный директор объединения «Союз-твердосплав» Л.И. Клячко, бывший директор ГП «ИН-МА» В.К. Витрянюк, доктора технических наук А.Ф. Лисовский, М.Г. Лошак, автор этих строк и многие другие.

Ученики М.М. Бабича гордятся тем, что работали под его руководством, обогатились научными знаниями и практическим опытом. Своими достижениями они во многом обязаны М.М. Бабичу, поэтому стараются сберечь и приумножить его наследие, а также сохранить память о нем у подрастающего поколения «твердосплавщиков». К 100-летию со дня рождения ученого его ученики, последователи, молодые ученые – «твердосплавщики» Украины при участии ученых многих стран мира выпустили сборник научных статей «Современные твердые сплавы» [15], где опубликованы статьи о современном состоянии твердосплавного производства и научных разработках в области твердых сплавов в Украине и ведущих странах мира. Из этого следует, что дело, которому М.М. Бабич посвятил много лет жизни, продолжает развиваться.

Литература.

1. Pat. 420689 des Deutsches Reich K1 40B Gruppe 17 Geqinterte harte Metallegierung und Verfahren zu ihrer Herstelluhg / K. Scnröter, vom 30 Marz 1923 au.
2. Бабич М.М. Неоднородность твердых сплавов по содержанию углерода и ее устранение. – К.: Наук. думка, 1975. – 176 с.
3. Креймер Г.С., Ваховская М.Р. О влиянии содержания углерода в твердых сплавах карбид вольфрама–кобальт на их механические свойства // Порошковая металлургия. – 1965. – № 6. – С. 24–31.
4. Wyman L.L., Kelly F.C. // Trans. Amer. Soc. Steel Triat. – 1930. – R. 968.
5. Sykes W. P. Discussion on the article by Wyman L. L. and Kelly F. C. // Ibid. – 1931. – 23. – P. 227.
6. Бочвар А.А. Металловедение. – М.: Металлургиздат, 1933. – 418 с.
7. Корольков А.М., Лавлер А.М. О диаграмме состояния системы WC–Co// Металлургия. – 1934. – 9. № 2. – С. 53–55.
8. Takeda S.Sc. Rep. Tohoku Univ. Honda Anniversary Volume. – 1936.
9. Третьяков В.И. Металлокерамические твердые сплавы. – М: Металлургиздат, 1962. – 588 с.
10. Standford E.L., Trent E.M. The physical Metallurgy of sintered carbides// Symposium of powder metallurgy iron steel Special. – 1947. – 37. – P. 84–91.
11. Rautala P., Norton I. Tungsten-cobalt-carbon System// I. Metals. – 1952. – 4. № 10. – P. 1045–1050.
12. Клячко Л.И. Из истории отечественных твердых сплавов. Максим Максимович Бабич. – М.: Металлургиздат, 2006. – 28 с.
13. Бабич М.М. Стыковая сварка твердосплавных пластин // Порошковая металлургия. – 1969. – № 2. – С. 35–41.
14. Двухслойные штыри для оснащения шарошечных долот/
15. М.М. Бабич, В.К. Богатырев, В.П. Бондаренко и др.// Алмазный и твердосплавный инструмент в горном деле. – К.: Тэхника, 1965. – С. 86–90.
16. Современные спеченные твердые сплавы: Сбор. науч. стат./ Под общ. ред. акад. НАН Украины Н.В. Новикова.– К./изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 344 с.

Поступила 14.07.08.