

哈爾濱工業大學

鑄造論文集

ZHUZAO LUNWENJI

慶祝國慶十週年

1

鑄工教研室

1959



# 鑄造論文集

(第一集)

---

編輯者 哈爾濱工業大學鑄工教研室  
出版者 哈爾濱工業大學科學研究處  
印刷者 哈爾濱工業大學印刷廠  
發行處 黑龍江省新華書店  
經售者 各地新華書店

---

第一次印刷 1—1000 冊 1959 年 12 月  
第二次印刷 1001—5000 冊 1980 年 4 月

定價 1.20 元

# 庆祝国庆十周年，高举总路线的 红旗，继续大跃进

## 鑄工专业委员会

我們哈尔滨工业大学鑄工专业全体师生員工以欢欣鼓舞的心情把这本論文集献給領導我們各項工作大跃进的伟大的中国共产党，献給我們社会主义祖国伟大的建国十週年。作为我們几年来向祖国和党的一个汇报。

我們充滿喜悅地自豪地回顧着以往的十年，从我們鑄工专业的成长过程里我們也亲眼看到十年来祖国前进的步伐。

大家都知道，鑄工是机械制造工业的先鋒，但是旧中国的高等工业学校里从来没有鑄工专业，只有在中华人民共和国成立后，在党和政府的关怀下才建立了鑄工专业。1952年秋苏联专家技術科学副博士副教授列·謝·康斯坦丁諾夫(Л.С. Константинов)同志和米·瓦·丘納也夫(М. В. Чунаев)同志，來我校工作，帮助我校建立了我国高等学校历史上第一个“鑄造工艺与設備”教研室(簡称鑄工教研室)，同时为了給兄弟学校培养本专业的師資，在专家直接领导下开始了培养研究生和进修教师的工作，专家亲自为我国高等工业学校第一次教授了“鑄造車間設備”，“鑄造車間設計原理”等課程。在苏联专家的热情指导下，年輕的教研室很快独立地掌握了五年制的教学过程，建設了面积为1400余平方米的鑄工實驗室，在1956年培养出了我国第一批正规的五年制的鑄工专业毕业生。几年来哈尔滨工业大学鑄工专业已为国家培养了26名研究生，30多名进修教师和148名五年制毕业生。他們分布在全国30多个高等学校里担任着不同的教学和科学研究工作，成为各兄弟学校学习苏联，进行教学改革，完成各項教学和科学研究工作的重要力量，并在十个国内知名的高等工业学校中担任着本专业教研室主任的重要工作；他們还分布在全国七个科学研究和設計机关、20多个工厂和国防企业里，在传播苏联先进經驗、与工人結合、进行創造性劳动方面发挥着积极作用，其中有些人已担任着鑄工車間主任，車間技術組組長等领导工作，不少人已成为本单位的先进工作者。現在我們兴奋地看到，全国除了西藏、青海、云南、貴州、广西等少数省分以外，都播下了我校鑄工专业的种子。除此之外，更使我們兴奋的是，現在我国已有20~30个高等工业学校建立了鑄工专业。

所有这些都仅仅是这伟大的十年中后七年里发生的变化。多么快的步伐啊，在党的领导下，我們年輕的人民共和国在前进着！

几年中，我們在不断改进和完善教学过程的同时，还根据經濟建設的需要开展了科学研究工作。1954—1955年教研室与东北綜合工业試驗所(即鑄造研究所前身)及沈阳紡織机械厂等合作进行了亚硫酸紙浆廢液作坭心粘結剂的研究，与鞍山鑄管厂合作进

行了潮模离心浇鑄鑄鐵管的研究。1956—1957年与哈尔滨機車車輛厂合作进行气缸套离心鑄造的研究，与哈尔滨汽輪机厂合作进行了汽輪机叶片熔模鑄造的試驗，并結合實驗室的生产任务进行了高砂耐热鑄鐵的試制和研究工作，此外还开展了水玻璃砂高溫性能的研究工作。教研室还積極地組織和参加了哈尔滨市鑄造界的科学技術活动，并負責主持鑄造生产技術研究会的工作。

但是更使我們获得无比的前进动力的乃是党所领导的整风运动，及在整风运动胜利的基础上党所提出的建設社会主义的总路綫。

整风运动使全专业师生員工的思想面貌产生了深刻的变化，并在专业內贯彻了党委制的领导。总路綫的巨大动員力量在我专业各项工作中掀起了鼓足干劲，力爭上游，意气风发的局面。在科学研究工作上也是如此。在大跃进的1958年里，我专业組織了“七一”、“八一”、“十一”三次向党献禮，并結合實驗室生产任务，总结出冲天爐內用无烟煤全煤化鉄等經驗，受到国内十几个省的工厂的欢迎。1959年1月，我們積極地配合了哈市的工业技術革命，組織了50多名高年級学生总结了全哈市鑄工車間1958年大跃进以来湧現出的鑄造先进經驗，編写了“球墨鑄鉄生产試驗”、“土焦土鉄”、“小干大鑄造法”、“半永久型”“金屬型鑄造試驗”、“水玻璃砂”及“鑄工机械化”等七本文集。

不但如此，在大跃进的形势和兄弟学校的鼓舞下，我們在思想里也得到了丰富的收获，这就是使我們进一步体会到科学研究工作必須贯彻“科学研究为生产服务，理論联系实际”的原則，从而以任务带动科学研究工作；在科学研究工作的领导上必須贯彻政治挂帅和群众路綫。在1958年的基础上，本着科学研究“从社会主义建設总路綫出发，为經濟建設和国防建設服务”的精神，根据机械工业产量翻番对鑄造提出的要求，我們安排了1959年的科学研究工作。首先，我們結合第一汽車厂产量翻五番的雄伟口号中的关键問題，在可鍛鑄鉄快速退火，水玻璃砂在大量流水生产中的应用，压膜造型自动綫及115型混砂机綜合自动化等四方面进行了全面的科学技術合作，并組織教师、学生与汽車厂鑄工車間共同根据汽車厂几年来的生产試驗，总结編写“汽車另件鑄造工艺”一書，作为厂校向十周年国庆献禮。其次，在市委工业部的大力支持下与哈尔滨动力机械厂合作，以該厂为試点，摸索总结小厂实现产量翻番的技術革命道路。再次，在校內进行了合金鋼离心鑄造的研究工作，繼續进行了水玻璃砂壳型的試驗工作，并与某些国防部門建立了多种合作。最后，还适应1959年上半年度鑄鋼产量翻番的要求，协助和平机器厂总结了鑄鋼坭型的經驗，并在哈尔滨林业机械厂用土产材料試成了鑄鋼坭型。依照党的科研工作必須贯彻群众路綫的指示，我們实行了以教师起主导作用的教师、工人、学生三結合，特別把五年級学生毕业設計中的专题部分与专业的科研題目結起来，大大增大了科研工作的队伍。

半年多来，在总路綫的光輝照耀下，由于明确了科学研究为生产服务，建立了亲密的厂校协作，既解决了学校物资材料供应緊張的情况，又解决了工厂技術力量不足的困难，互相协作共同跃进，实现了以任务带动科学研究，使之直接为經濟建設和国防建設服务；并且，厂校协作使师生都得到了生产实践的鍛炼，既丰富了教学內容，使之与国内实际結合更密切，又使学生的生产知識大大丰富，經受了独立工作的鍛炼。由于实行



了政治挂帅和群众路线，使我们在教学任务较重的情况下科学研究工作仍然得以开展，同时通过科学研究工作又达到提高培养学生质量的目的。

1958年的大跃进和半年来的厂校协作，使我们的科研方向在生产实践中得到了校验和更加明确，这就是精密铸造方法，高强度铸造合金，铸造生产机械化和自动化，而在近几年内则以熔模精密铸造，高强度铸铁（包括可锻铸铁）及造型和砂处理的机械化和自动化为主。

这本论文集里主要反映了1959年间在“向伟大国庆十周年献礼”的鼓舞下我们科学研究工作的一些较系统的结果（其它项目正在继续进行，有些尚待生产试验），同时也收集了两篇以前的试验研究结果，而“在过共晶铸铁中球状石墨生成的过程及其与碳化铁和奥氏体之间的关系”和“从冷却曲线来看球墨铸铁的一次结晶过程”两篇是我教研室陈熙琛同志1957—1958年在苏联进行副博士论文工作中的一部分。因此在这本论文集即将问世的时候，不由我们不联想起七年来我专业的成长过程和党及政府对我们的多方面的关心培养，不由我们不联想起这伟大十年中我们人民共和国的高速度发展，我们谨以欢欣鼓舞而又至诚的心情把它献给十周年的人民共和国和我们光荣的党。

在这本论文集即将问世的时候，我们不能不回忆起苏联专家在我专业成长过程中的巨大帮助。我们谨向曾来我校教导过我们的苏联专家技术科学副博士副教授列·谢·康斯坦丁诺夫（Л. С. Константинов）和米·瓦·丘纳也夫（М. В. Чунаев）同志表示衷心的感谢。我们也向帮助我校培养副博士研究生的苏联乌克兰科学院通讯院士、技术科学博士教授阿·阿·郭尔什高夫（А. А. Горшков）同志表示衷心感谢。最后也向在困难的时期帮助过我们的兄弟学校表示衷心的感谢。

## **Отмечая 10-ую годовщину со дня образования КНР, высоко поднимая знамя генеральной линии, продол- жаем идти вперед.**

### *Комитет специальности литейного производства*

Накануне 10-ой годовщины со дня образования КНР мы-коллектив специальности литейного производства ХПИ, в честь этой великой даты, посвящаем Народной Республике этот сборник статей, посвящаем его коммунистической партии, которая высоко держит знамя генеральной линии и руководит всем китайским народом в большом скачке во всех областях жизни страны. Этот сборник является нашим отчетом перед Родиной и партией.

С большой радостью и гордостью обратимся к истекшему десятилетию. В процессе развития специальности литейного производства мы уже чувствовали темпы продвижения вперед нашей Родины.

Всем известно, что литейное производство является авангардом машиностроительной промышленности. Однако во втузах старого Китая не было ни одной литейной специальности. Только после образования Китайской Народной Республики, благодаря заботам Партии и Правительства, смогли создать эту специальность в высших учебных заведениях. Осенью 1952 г. к нам в институт приехали советские специалисты—литейщики к. т. н. доценты Л. С. Константинов и М. В. Чунаев. С их помощью была организована первая в истории развития высшего образования в нашей стране кафедра «Машины и технология литейного производства». С целью подготовки преподавателей для братских втузов советские специалисты впервые у нас прочитали курсы «Оборудование литейных цехов», «Основы проектирования литейных цехов» и другие.

При помощи советских специалистов молодая кафедра быстро овладела всеми звеньями учебного процесса в подготовке инженеров. Вскоре после организации кафедры построили лабораторию, имеющую площадь около 1400 м<sup>2</sup>. В 1956 году выпустили первую партию в нашей стране литейщиков со сроком обучения 5 лет. За истекшие годы кафедра литейного производства ХПИ подготовила для Народной Республики 26 аспирантов, больше 30 преподавателей повышавших квалификацию и 148 студентов. Выпускники нашей кафедры распределены по всей территории Китая. Среди них некоторые работают преподавателями во втузах и сейчас успешно ведут учебную и научно-исследовательскую работу, Они являлись и являются основной силой в деле учебы у

Советского Союза, играют главную роль в революции учебных процессов и в текущей работе. Особенно следует отметить, что заведующими кафедрами литейного производства десяти известных институтов являются бывшие аспиранты нашей кафедры или преподаватели, прибывшие к нам для повышения квалификации.

Некоторые из наших выпускников работают в научно-исследовательских и проектных учреждениях. Некоторые на предприятиях распространяют передовой советский опыт. Немало из наших выпускников занимают руководящие посты — начальники литейных цехов, начальники технического бюро цехов. Многие из них стали передовиками. С большой радостью замечаем, что по всей территории нашей страны, за исключением некоторых отдельных провинций (Тибет, Циньхай, Юнань, Куйчжоу, Гуанси) рассеяны семена нашей специальности — литейного производства. Нас особенно вдохновляет то, что сейчас в нашей стране более 20 институтов наряду с нашим институтом подготавливают специалистов-литейщиков.

Все эти успехи были достигнуты за последние 7 лет этого десятилетия. Какими темпами продвигается дело строительства социализма нашей молодой республики под руководством компартии!

В прошлые годы наряду с непрерывным улучшением и совершенствованием учебных процессов постепенно развивали научно-исследовательскую работу в сочетании с потребностью социалистического строительства. В период от 1954 по 1955 г. г. совместно с Институтом литейного производства и Шеньянским заводом текстильных машин наша кафедра исследовала применение сульфатного шелока, как связующего вещества стержней. Кроме того за это время совместно с Аншаньским металлургическим комбинатом наша кафедра провела большую работу в области изготовления чугунных труб центробежным литьем с сырой футеровкой изложниц.

В 1956—1957 годах научно-исследовательские работы были развернуты в больших масштабах. За этот период времени кафедра вела следующие темы:

Изготовление гильз центробежным методом (совместно с ХПВРЗ); изготовление лопастей паровых турбин по выплавляемым моделям (совместно с Харбинским турбинным заводом); получение высококремнистого чугуна типа силала в вагранке; исследование свойств формовочных смесей на основе жидкого стекла при высоких температурах.

Движение за упорядочение стиля в работе и генеральная линия социалистического строительства, выдвинутая партией после победы движения за упорядочение стиля в работе дали нам несравнимую силу.

В результате проведения движения за упорядочение стиля в работе поли-

тический облик преподавателей и студентов нашей специальности коренным образом изменился. Партийное руководство внедрялось в нашей специальности. Следуя генеральной линии, как во всяких работах, так и в научно-исследовательской работе коллектив нашей кафедры напрягает все силы, старается быть передовым. В небывалом по успехам 1958 году 1 Июля, 5 Августа и 1 Октября мы три раза сделали подарки партии.

В январе 1959 года откликнувшись на техническую революцию 50 с лишним преподавателей и студентов старших курсов обобщили передовой опыт политейному производству, возникший в 1958 году в городе Харбине, в результате чего написали 7 брошюр, а именно: «Производство чугуна с шаровидным графитом», «Полупостоянные формы», «Кокильное литье», «Быстросохнущие смеси на основе жидкого стекла» и «Механизация литейных процессов».

Под влиянием большого скачка и при одобрении братских институтов в идеологическом отношении нами также были достигнуты большие успехи. Мы глубже поняли принцип «научное исследование должно служить производству, теория должна быть связана с практикой». Мы поняли, что научно-исследовательская работа должна основываться на поставленной перед нами задаче, в научно-исследовательской работе политика является ведущей силой, и необходимо соблюдать курс «линия масс». Исходя из принципа «все для экономического строительства и строительства обороны», на основе требований, предъявленных все возрастающей машиностроительной промышленностью к литейному производству, мы установили научно-исследовательские работы на 1959 год.

Прежде всего в сочетании с движением повышения производительности в 5 раз на Первом Автомобильном заводе мы заключили всесторонний договор с этим заводом в проведении следующих исследовательских работ: «Скоростной метод отжига ковкого чугуна», «Применение быстросохнущих смесей на основе жидкого стекла в условии поточного производства», «Формовочные машины с диафрагмой», «Комплексная автоматизация смесителя типа 115». Преподаватели и студенты старших курсов совместно с автозаводом написали книгу «Технология отливок автомобиля». Кроме того под поддержкой Городского комитета партии мы совместно с Харбинским Энергомеханическим заводом изучили опыт повышения производительности на маленьких заводах. В стенах института продолжали работу по исследованию оболочковых форм на жидком стекле. Наконец, обобщали опыт применения полупостоянных форм для стального литья на заводе Мир.

Согласно указанию партии о том, что научно-исследовательская работа должна идти по линии масс, мы осуществили объединение трех сторон (т. е.



преподавателей, рабочих и студентов), ведущую роль в котором играют преподаватели. Мы соединили дипломные проекты с проблемами научного исследования кафедры, что сильно увеличило отряд научного исследования.

За прошедшее подугодие под сиянием генеральной линии, по принципу служения научного исследования производству мы установили дружное сотрудничество с заводами, что облегчило напряженное состояние в снабжении материалов в институте и помогло заводам в технических силах. При сотрудничестве с заводами мы ведем научное исследование на основе поставленной задачи, в результате чего научное исследование непосредственно служит экономическому строительству и строительству обороны страны. Причем, сотрудничество с заводами дало нам возможность проходить производственную практику на заводе. Это обогатило содержание обучения и производственные знания студентов. Студентам представлена возможность самостоятельно работать. Благодаря партийному руководству и проведению линии масс, хотя учебная нагрузка у нас была более тяжелой, но мы вели ряд научных исследований и тем самым добились повышения качества подготовки студентов.

Большой скачок, совершенный в 1958 году, и совместная работа с заводами дали нам более ясное представление о дальнейших направлениях научно-исследовательских работ на нашей кафедре, а именно: методы повышения точности отливок; высокопрочные литейные сплавы, механизация и автоматизация литейного производства, а в ближайшие годы, главным образом, будем заниматься точным литьем по выплавляемым моделям, высокопрочным чугуном и механизацией и автоматизацией изготовления формовочных смесей.

В данном сборнике статей отражены более систематические результаты достигнутые нами за 1959 год. Некоторые другие проблемы мы сейчас продолжаем исследовать, некоторые нуждаются в проверке на производстве. Здесь также помещены 2 статьи, которые являются результатом прошлого исследования, а статьи "О процессе образования шаровидного графита и взаимосвязи с аустенитом и карбидом железа при первичной кристаллизации чугуна заэвтектического состава" и "О кривых охлаждения чугуна с шаровидным графитом" являются отрывками из диссертации сотрудника нашей кафедры Чень Си-шеня, которые были выполнены в период 1957—1958 г. в Советском Союзе под руководством члена-корреспондента АН УССР доктора тех. наук. проф. А. А. Горшкова.

Перед выпуском этого сборника нам нельзя не упомянуть о процессе развития нашей специальности за прошедшие 7 лет и заботу, проявленную правительством и партией к нам, также нельзя забыть о быстрых темпах развития КНР за последние 10 лет. Мы посвящаем этот сборник Народной Респуб-

лике и нашей славной коммунистической партии.

Перед выпуском этого сборника мы также вспоминаем об огромной помощи, оказанной нам советскими специалистами. Сердечно благодарим канд. техн. наук, доц. Л. С. Константинова и М. В. Чунаева, которые работали в нашем институте. Также сердечно благодарим члена-корреспондента АН УССР, проф. А. А. Горшкова, который подготовил для нас аспиранта. Наконец, благодарим братские институты, которые оказали нам помощь в трудные дни.

# 可鍛鑄鐵快速退火研究

哈爾濱工業大學  
第一汽車製造廠可鍛鑄鐵退火小組

## 摘 要

在去年我國工業大躍進的形勢下，第一汽車製造廠提出了產量翻番的雄偉躍進指標。在這一偉大政治任務鼓舞下全廠範圍內展開了轟轟烈烈的技術革命和增產運動。可鍛鑄鐵退火是實現增產任務的薄弱環節之一。因此，在不增加退火設備的條件下完成增產任務，縮短可鍛鑄鐵退火周期就成為急待解決的關鍵問題。鑒于此，第一汽車廠與哈爾濱工業大學成立可鍛鑄鐵快速退火研究小組進行了一系列實驗及生產試驗，於1958年8月已成功地將鐵素體可鍛鑄鐵退火時間由原來的50~58小時縮短到24小時。由於廠校的共同努力，59年7月又進一步將退火周期縮短到16~18小時。達到鐵素體可鍛鑄鐵快速退火的先進水平。

生產經驗證明，適合於鐵素體可鍛鑄鐵快速退火的化學成份為： $2.45\sim 2.65\% C$ ， $1.4\sim 1.5\% Si$ ， $0.4\sim 0.5\% Mn$ ， $< 0.12\% S$ ， $0.12\sim 0.17\% P$ ， $< 0.05\% Cr$ ， $0.0015\sim 0.0025\% B$ ， $0.005\sim 0.008\% Bi$ 。拉力強度為36~44公斤/毫米<sup>2</sup>，延伸率為10~16%，硬度為130~156H<sub>s</sub>。

## 一、引 言

可鍛鑄鐵生產中退火是一關，可鍛鑄鐵件都必須經過一個比較冗長的退火過程。如何能加速退火過程，提高生產率一直是可鍛鑄鐵生產中的重要課題。尤其當球墨鑄鐵在高強度鑄鐵中出現以後，這個問題更加突出了。大家都知道，要獲得鐵素體基體的球墨鑄鐵也需要進行退火，雖然它能獲得更高的強度，但在大量生產中質量的穩定要比鐵素體可鍛鑄鐵差，而且成本也略高。比較懸殊的差別就在於退火時間上，所以如何縮短可鍛鑄鐵退火的時間並提高其強度，對鐵素體可鍛鑄鐵今后的發展具有很大的意義。

近年來由於科學技術的不斷發展，湧現了很多快速退火方法。首先在1949年出現了Π-650 提昇式密閉電阻退火爐。由於爐子是密閉的，可以用空氣（爐氣）作為介質進行退火，這樣就把舊式裝箱工藝改變為機械化的裝車工藝，大大的減輕了體力勞動和改善了勞動條件。而且鑄件在第一階級保溫後可以在空氣中冷卻，1~2小時以內就能開始第二階段石墨化了。結果使得退火週期大大縮短，由原來的120~180小時，縮短到80小時左右。這是一個從熱處理設備的改進來加速退過程的典型例子。但是可以看到它所能縮短的只是鑄件加熱與冷卻所需要的輔助時間。

另外從熱處理工藝規程著想，如提高退火溫度或昇溫時在低溫進行人工時效等能顯著的縮短保溫時間。但退火溫度的提高是有限的。溫度太高將影響鑄件的質量（機械性能變壞，鑄件變形，氧化嚴重等）。而低溫人工時效本身需要7~8小時，對於整個

\* 本文系李慶春、趙華新根據59年廠校技術協作總結整理而成。參加此項工作者哈工大李慶春、朱培鈺、唐克燦、趙華新、朱述曾、汽車廠有孫以鑒、閻樹保、李風桐、呂晉華等人。



退火週期的縮短是不利的。採用退火前淬火，予加应力，和盐浴处理都能有力的促进石墨化的过程，但是这些新工艺不能适用于大量或成批生产。尤其鑄件的形状比較复杂，容易造成开裂、变形等废品。

改变浇鑄工艺和鑄件冷凝条件也能加速退火，提高鉄水过热温度和鑄件的强制冷却都有力的促进退火时的石墨化。採用金屬型浇鑄，退火时石墨化速度将提高四倍，遺憾的是它也有上述的缺点不适于白口鑄件的大量生产。

目前，最有效的，在大量生产中能切实可行的是改变鑄鉄的化学成分和变質处理。这是一个根本的方法，因为如果鑄鉄中含有大量的阻碍石墨化的元素如 Mn, Cr 或 S，那么無論採用什么方法，石墨化都需要很長的时间，甚至根本不可能发生第二阶段石墨化；相反，如果选择了最理想的化学成分，經過了恰当的变質处理。那么退火时间就可以大大縮短。

苏联在鉄素体可鍛鑄鉄生产中通过控制 Mn 和 S 的含量，并用 Al 进行变質处理，获得了良好的效果。在 П-650 电爐中退火，将退火时间由 80 小时降至 52~60 小时 [1]。

美国在生产珠光体可鍛鑄鉄生产中用硼鈹变質处理，使石墨化速度提高了許多，退火时间降底到 25~30 小时。

苏联高尔基汽車厂近年又进行了硼鈹鉄素体可鍛鑄鉄的生产試驗，将退火时间縮到 30~37 小时 [2]。

长春第一汽車制造厂，很早就注意到硼鈹鉄素体可鍛鑄鉄生产問題，并和哈尔滨工业大学鑄工教研室协作进行专题研究。在 1958 年的生产試驗中，退火时间已压縮到 24 小时 [3] 在这基础上，我們繼續进行了快速退火的实验研究，现在初步試驗成功地将退火周期压縮到 16~18 小时，达到了鉄素体可鍛鑄鉄退火的先进水平。

## 二、硼、鈹、矽对可鍛鑄鉄鑄態組織及退火時間的影響

对于黑心可鍛鑄鉄來說，最理想的变質剂是，在鑄鉄冷凝时阻碍石墨化，而在可鍛退火时促进第一，第二阶段石墨化，并且加入量微小而作用强烈。遺憾的是到目前还没有找到一种元素能完全滿足这样理想要求的。因此，不得不利用二种或多种元素的综合作用來滿足我們对黑心鉄素体可鍛鑄鉄的上述要求。

### (一) 鈹的影響

#### 1) 鈹对鑄鉄冷凝时石墨化的影响：

不同的含鈹量对一次石墨化的阻碍作用是不相同的，我們曾发现 0.003% Bi 能使成份为 2.4% C, 1.25% Si, 0.0048% B, 0.117% S 直徑为 80 毫米試棒的断面获得白口。但含鈹量小于 0.003% 时其阻碍石墨化能力驟然減弱。0.003% Bi 已不能使成份为 2.65% C, 1.26% Si 的  $\phi 50$  毫米試棒消除灰点（組織中出現片状和网状石墨）。

为了探明鈹阻碍一次石墨化能力，我們在实验室实验的基础上作了一批生产試驗。在不同碳矽成份的鉄水中改变含鈹量，逐一的浇注直徑为 60 毫米的可鍛鑄鉄生产爐前控制試棒。根据它們断面的情况，繪制出鈹（硼）鑄鉄的組織图（图 1），图中的曲綫为白口临界綫，曲綫下方諸点均为白口断面，而其上方将出现灰点。

蔡小初等曾研究过铋对铸铁凝固时石墨化的影响<sup>[4]</sup>，并获得类似的含铋铸铁组织图。它是试棒直径为 40 毫米在砂型浇注后用空气自然冷却而获得的。其相应的临界曲线如图 1 曲线 2 所示。由于实验方法和条件不同，它们所反应的铋作用能力也不同。我们所得结果是在生产试验的条件下获得的。故熔化和浇注的条件和大量生产的条件完全相同，也由于所用的炉前控制试棒能反应汽车厂现生产铸件的情况，所以它能较正确的反应在铁素体可锻铸铁生产的条下铋和白口临界碳当量 ( $C_9 = C + \frac{1}{3}Si$ ) 之间的关系。而我们所得的白口临界线在生产过程中不断的得到修正，经受了生产的实际考验。

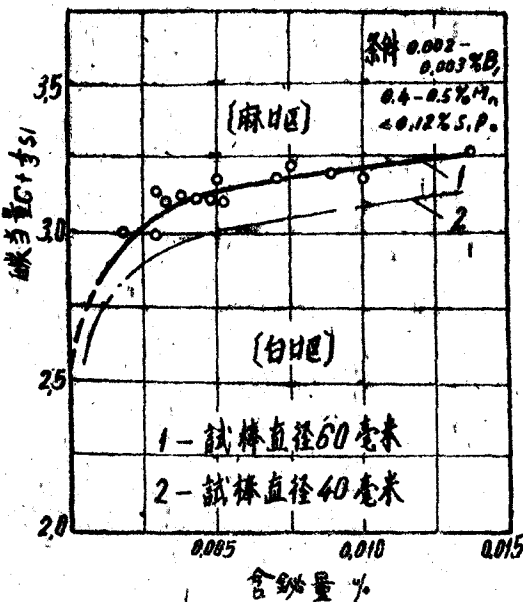


图 1 含铋铸铁组织图。

增加碳当量趋向一极限值，即  $\lim C_9 = 3.25$ 。碳当量大于极限值，铋再不能使铸件获得白口，由图 1 还可以看到，含铋量小于 0.002 时，碳当量的临界值是比較小，促进白口的效果不大。含铋量大于 0.015%，曲线趋于水平，增加很多铋量只能引起碳当量微量的增加。所以适于采用铋的范围是 0.002%—0.015% Bi。在这一含量范围内铋阻碍铸铁凝固时石墨化的作用最为显著。

在铁水的碳砂份不变的情况下，铋能扩大白口铸件允许的壁厚。一般铸铁获得白口组织的条件为： $C(Si + lgR) < 4.5$ <sup>[5]</sup>。而加铋（硼）以后获得白口的条件为： $C(Si + lgR) \leq 7.10$ 。可见加铋后可使铸件厚度大为增加。图 2 即表示含铋与不含铋铸铁组织图的对比。

如前所述，铋具有很强烈的白口作用。使得在较高的碳当量情况下，加入微量的铋就能保证铸件截面获得白口组织。下面就进一步研究在退火过程中铋的作用。

## 2) 铋对退火时石墨化的影响，

前人进行了不少工作，实验表明铋具有稳定珠光体作用。国外一些工厂以铋作稳定珠光体元素来铸造珠光体可锻铸铁曲轴。美国 Pontiac V—8 曲轴含铋 0.025% 获得

了純珠光体可鍛鑄鐵 [6]。

我們進行下列研究，以確定鉍對退火時石墨化的作用，將含鉍量不同鑄鐵的試棒在實驗室爐中進行退火。

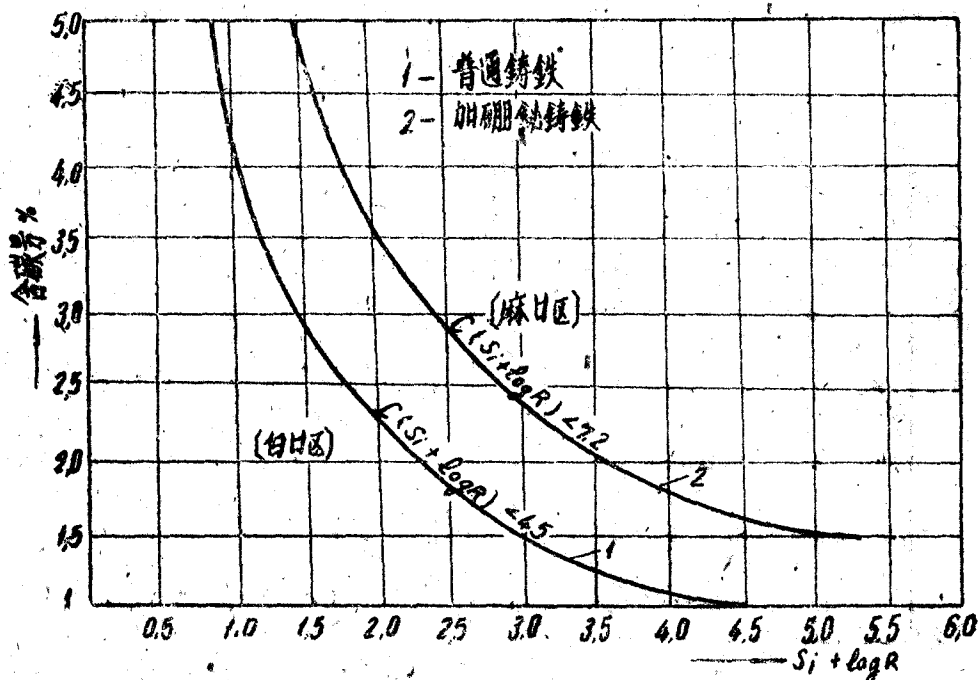


圖 2 鑄鐵組織圖

圖 3 所示系五種含鉍不同鑄鐵石墨化程度曲綫（硬度是在空冷條件下所獲得。）曲綫表明隨着鉍含量的增加將延長第一、第二階段石墨化時間，但曲綫間偏差不明顯，故可以認為微量鉍對退火時石墨化影響不大。

鉍對珠光體的穩定作用，只有在含鉍量較高的情況下表現得較明顯。含鉍量大於 0.04% 珠光體即不能分解。

由圖 4 可知隨鉍的加入量增多退火後殘余珠光體越多。

長春汽車廠 1958 年以來硼鉍可鍛鑄鐵的生產也證明這一點。在密閉式電爐中退火昇溫至 970° 不需要保溫（大於 900°C 的延續時間為 2—3 小時）第一階段石墨化已經進行完畢。而第二階段石墨化隨鉍量增加退火時間需要適當延長。我們總結了生產情況得出了鉍一退火時間組織圖（如圖 5）。由圖可見，當  $S < 0.12\%$  而含鉍量在 0.002—0.015% 時曲綫接近水平，說明鉍對第二階段退火的影響甚微。雖然如此，鑒於鉍的貴重我們仍然希望在保證白口的條件下盡量的壓低鉍的含量。

綜上所述，在冷凝時微量的鉍強烈的阻礙石墨化。而在退火時阻礙石墨化的能力甚微所以鉍對快速退火來說是一極其有利的元素。



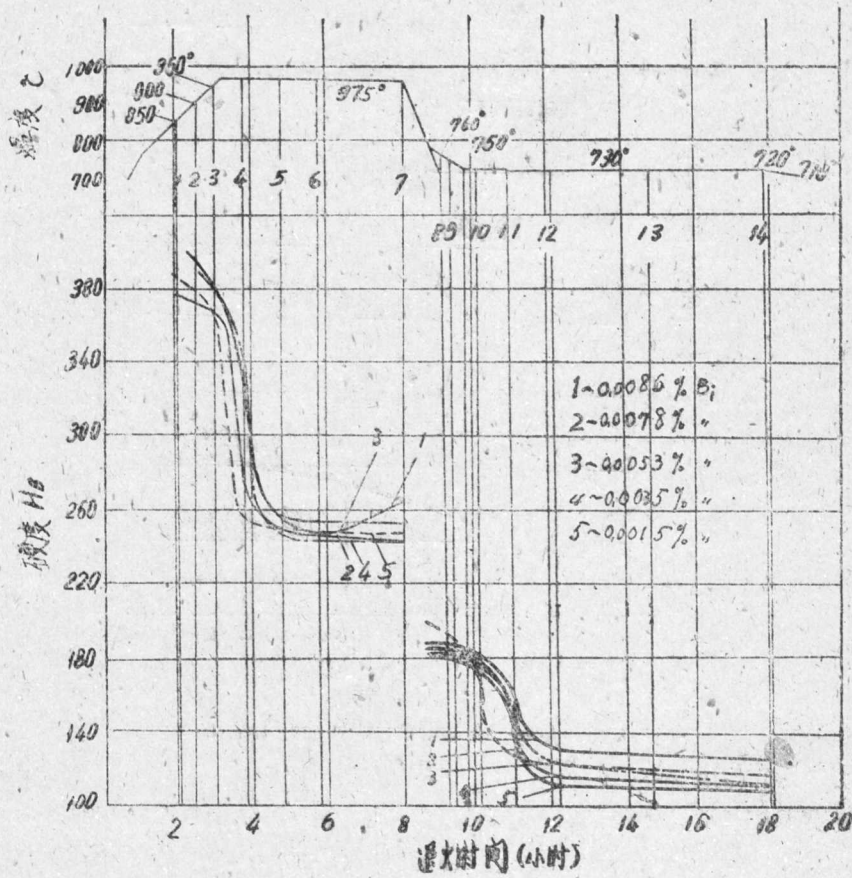
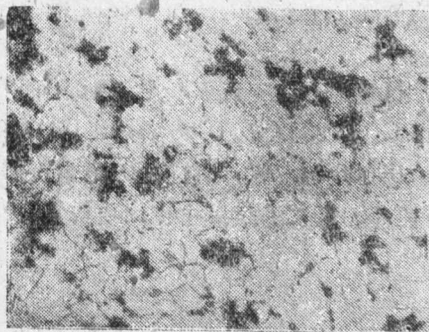
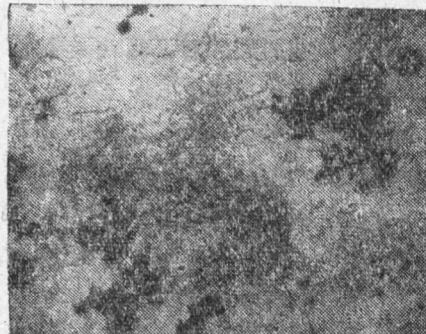


图 3 錫对可鍛鑄鐵石墨化的影响



錫加入量 0.01% × 115



錫加入量 0.06% × 270

图 4 錫对球光体稳定作用的影响

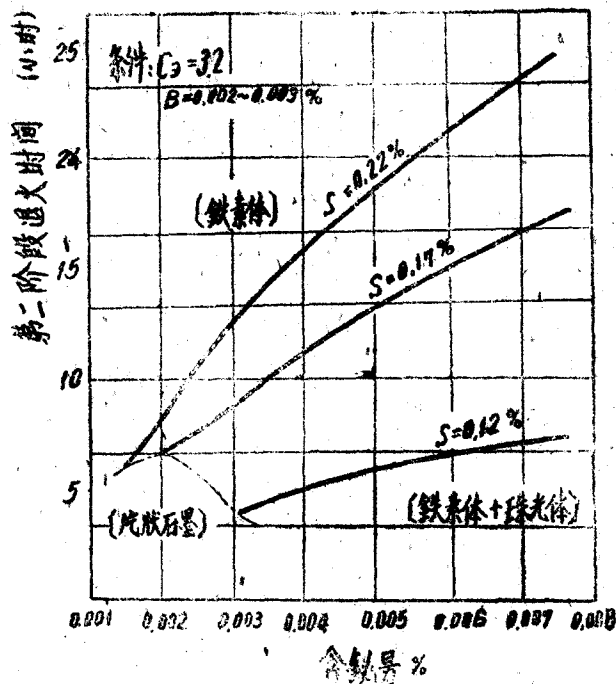


图 5 硼——第二阶段退火时间相繼圖

## (二) 硼的作用

早就发现加入微量硼能有力促进石墨化。关于硼对可锻铸铁的影响综合起来如下，含硼量大于 1%，即不能退火且呈过共晶组织，硼小于 0.1% 可加速退火，而含硼量为 0.001% 时效率最大<sup>[7]</sup>，0.001% 硼可抵消 0.03% 铬对石墨化的不良作用<sup>[8]</sup>。一般认为在可锻铸铁件含硼量以 0.002—0.003% 为宜<sup>[9]</sup>。硼有细化组织作用，随着含硼量增加退火碳变细而紧实<sup>[10]</sup>。

### 1) 硼对铸铁一次结晶时的影响

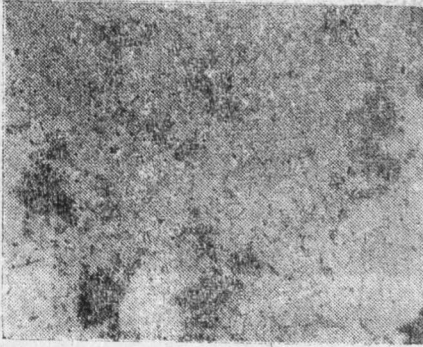
在整个试验过程中，我们是在一定含钍量的情况下研究硼的作用以确定硼的加入量，而没有单独研究硼对可锻铸铁石墨化的影响。

实验过程中发现微量硼促进铸铁一次结晶时石墨化，这一点可以用不同硼量对试样断面引起的变化来证实。在其他成分相同 (2.39% C, 1.25% Si, 0.38% Mn, 0.09% S, 0.03% Cr, 0.003% Bi) 的情况下，当含硼量为 0.0068% 时，直径 60 毫米试样断面全部为白口，而含硼量增至 0.0072% 时，在直径 50 毫米的试样中也出现灰点，由此可见微量硼在一次结晶时有助于石墨的析出。

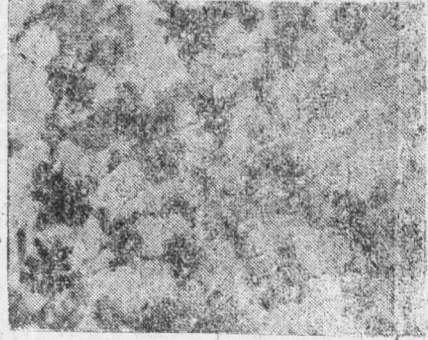
### 2) 硼对退火时石墨化的影响：

硼加速退火过程中的石墨化，其作用在第二阶段表现得尤为明显，我们在成份为：2.4% C, 1.25% Si, 0.37% Mn, 0.151% P, 0.11% S 的铁水中改变硼的含量，并以相同的退火工艺进行退火（在第二阶段 680°C 保温 8 小时）。观察退火后的显微组织来判断不同含硼量对珠光体分解作用的影响。由图 6 可见，含硼量为 0.0046% 珠光体全

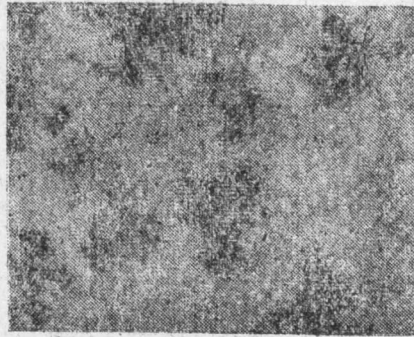
部分解，(图6 a)，随着含硼量的减少珠光体分解得越少。(图6 b、c)。



a. 0.006%B, 4% $\text{HNO}_3$   
酒精溶液腐蚀×115



b. 0.0039%B, 4% $\text{HNO}_3$   
酒精腐蚀×115



c. 0.0012%B, 4% $\text{HNO}_3$  酒精腐蚀×115

图 6 硼对石墨化的影响

在加硼可锻铸铁中，第二阶段退火时间的缩短是硼与矽综合作用的结果。硼对退火时石墨化的良好作用，只有在高矽的情况下才表现出来，我们曾将成分为 2.67% C, 1.09% Si, 0.47% Mn, 0.15% P, 0.12% S, 0.16% Cr, 铁水分别加入再生铝(0.015%)及硼铈(0.0056% B, 0.018% Bi)在实验室进行退火，结果二者在退火时间上并无显著差别，可见硼在含矽量较低时作用不大。关于硼与高矽配合下对第二阶段退火时石墨化的影响，将在以后详述。

硼对石墨形状有显著的影响，实验中发现，当硼少于 0.004% 石墨形状正常，在 0.0025% B 时，有球状石墨的混合组织，大于 0.004% B, 石墨呈爪状(图7)且铸件表面石墨极其松散。

硼对机械性能的影响可从表一得知，随着硼量增加，强度和延伸率都稍有下降，这是由于随着硼量增加石墨形状变坏所致。