

清 華 大 學

第一次科学討論会报告集

1956 · 4

第三分册 机械制造类

清華大学科学研究工作委员会編

机械工業出版社出版

清 華 大 学
第一次科学討論会报告集

第三分册 机 械 制 造 类

清華大学科学研究工作委员会編



机械工業出版社

1 9 5 6

目 錄

關於球墨鑄鐵的工作	王遵明 (3
金屬切削的塑性變形理論	王祖唐 (13
制圖的機械化問題	沈力虎 (19
某些因素對車床效率之影響 (1A62 車床效率研究)	馮鉄蓀 (24
放射性同位素的技術應用	張伯鵬 (64
自動鐸鐸藥的研究	張連第 (102

關於球墨鑄鐵的工作

從 1949 年到 1956 年，我做了一些關於球墨鑄鐵的研究，生產，和教學工作。寫了兩本書，在雜誌上寫了報道，為企業寫了資料。比較長期地幫助了三十五個企業部門的七十多位同志。但是，這些是和一道工作的同志，特別是撫順礦務局的同志，對我的幫助分不開的。借此表示感謝。現在，從上述工作摘錄資料，寫成這個報告。

一

包括鋼錠模和鑄鐵軋輥，每年鐵鑄件的產量是金屬總產量的八分之一，大約是銅產量的七倍，或棉花產量的四倍。鑄鐵的熔點靠近 1100° ，熔化設備簡單。灰口鑄鐵的收縮率約 1% 或更低，容易得到健全的鑄件。因此，從二千年前起，鑄鐵一向是生產工具的重要材料。今天，鑄鐵更以多少萬種的形式，出現於機器、設備、建築中。

但灰口鑄鐵的抗張強度一般低於 20 公斤每平方公厘，延伸率不到百分之一。高強度的灰口鑄鐵和孕育鑄鐵的抗張強度超出 20，後者的抗張強度甚至接近 40。但是它們的延伸率還是不到 1%。較弱較脆，是這些種類的鑄鐵的嚴重缺點。

可鍛鑄鐵具有不小的延伸率，百分之几，以至靠近百分之二十。它的抗張強度也較高，是 30—40。但在它的生產過程中，首先要控制它的成分在較狹的範圍內，並且只能鑄造較薄的鑄件，還要採用長達數十小時的熱處理。

白口鑄鐵的硬度高，超過 $H_B 400$ 。外白口的鐵鑄件，車輪和軋輥，是貨車、軋鋼廠、面粉廠的常見的重要設備。白口鑄鐵的抗張強度，一般低於 20，它也較脆。

球墨鑄鐵的出現和發展是本世紀鑄鐵、鑄鋼、和鑄造用有色合金的最大成就。它的熔點、流動性，直線收縮率接近灰口鑄鐵的，它的熔化和造型的成本，也接近灰口鑄鐵的。但經過簡單的球化處理和孕育處理，即，在液體鑄鐵中加鎂千分之二至四和矽鐵千分之四，鑄造後，球墨鑄鐵的抗張強度和延伸率就可以是 70 和 5%。這兩方面，球墨鑄鐵都超出灰口鑄鐵，孕育鑄鐵、合金鑄鐵很遠。和可鍛鑄鐵比較，球墨鑄鐵對成分的要求不嚴，可以鑄造厚鑄件，還無須經過冗長的熱處理。和白口鑄鐵比較，球墨鑄鐵的強度和韌性非常優越，經過熱處理，可以將硬度提高到 $H_B 500$ 或更多。普通鑄鋼是低碳鑄鋼和中碳鑄鋼。和普通鑄鋼比較，普通低磷球墨鑄鐵的抗張強度也較高。因此，將球墨鑄鐵看做本世紀鑄造合金中的最大成就，是有充分理由的。但球墨鑄鐵的延伸率比鑄鋼的差得多。和灰口鑄鐵比較，球墨鑄鐵引起縮松的可能性較大。球墨鑄鐵的成本也高些。

1936—1939 年，我做球化鋁矽合金的研究，讀到德國金屬學通報 Zeitschrift fuer Metallkunde 中坦曼 Tammann 对鋁矽合金的發言。他說，倘若能將鑄鐵中的石墨球化，鑄鐵的機械性質將飛躍地提高。加入鋁矽合金以球化矽的藥劑是約千分之二之鈉或鉀，或約百分之二的鈉化合物或鉀化合物。在三十年代，孕育鑄鐵的一種孕育劑是矽化鈣。和用矽鐵或鋁處理的比較，用矽化鈣處理得到的孕育鑄鐵的強度略高。我感覺到鈣对石墨片有微細化和等軸化的作用。因此，在 1939 年的論文中指出鈉和鈣可能球化鑄鐵中的石墨片。

為什麼鈉能夠球化鋁矽合金中的矽呢？各家的意見紛歧。有人提出機械式阻碍的說法。有人提出表面附着的說法。還有膠體說法、三相說法。在 1946 年，我根據前兩種說法作了一些改變，以為是由於鈉原子在生長着的矽結晶表面隨時附着隨時脫離。隨時附着，就阻碍了矽結晶的生長，使它微細化等軸化，移動共晶到含矽較多處和溫度較低處。隨時脫離，因而矽結晶繼續生長。

1948 年 12 月，清華大學解放。次年二月，開始做球墨鑄鐵的實驗工作，獲得球化的結果。從 1949 年起，看出鐵碳合金和鋁矽合金，在球化現象中，有很多類似之處。比較這兩種合金的工藝過程、各項性質、和使用情況，就可以互相啓發，擴大對於它們的了解和使用。

鑄鐵是鐵、碳、矽三重合金，還包含錳、磷、和少量的硫。工業用鋁矽合金還包含少量的鐵。穩定系統的鐵碳共晶是由面心正立方的奧斯騰體（以鐵為基礎的固溶體）和六角的石墨（碳）組成。鋁矽合金的共晶是由面心正立方的以鋁為基體的固溶體和金剛石式立方的矽組成。碳和矽分別是非金屬元素和半金屬元素。加入球化劑鎂就壓低了鑄鐵的共晶溫度。加入球化劑鈉就壓低了鋁矽合金的共晶溫度。鹼土金屬鎂和鈣是鑄鐵的球化劑。鹼金屬鈉和鉀是鑄鐵的部分有效的球化劑。鹼金屬鈉和鉀是鋁矽合金的球化劑。

根據對這兩種合金的實驗，並在觀察各國若干有關文獻後，從 1949 年起，我以為鑄鐵的球化劑的作用，類似鋁矽合金的球化劑的。以鎂為例。鎂原子在凝固中鑄鐵里生長着的石墨結晶表面，隨時附着，隨時脫離。隨時附着，就阻礙了石墨結晶的生長，使它微細化等軸化，壓低共晶溫度。隨時脫離，因而石墨結晶繼續生長。

我反對鎂或鎂化合物組成球狀石墨的核心的說法。很明顯的證據就是，不加孕育劑，只加球化劑鎂，往往得到白口鑄鐵。

最常用的工業方法，是在液體鑄鐵中加鎂或鎂合金，再加孕育劑矽鐵。當然，球狀石墨也是由核心長成的結晶。但這核心，是由原來鐵水中的碳分、矽分、冷卻速度等因素，特別是由後加的孕育劑矽分來安排的。

我的隨時附着隨時脫離的說法和別的幾家表面附着的說法也有差別。司結平 Степин 相信，石墨的表面包着一層鎂。布寧 Бунин 說，石墨表面包着一層奧斯騰體。

在這一節的末尾，再撮要地說幾句現象。當然，液體鑄鐵中最初加入的鎂，形成了硫化鎂，浮

入渣中，減低了鑄鐵中的硫分。倘若加入液体鑄鐵中鎂的分量不多，鑄出，就得到石墨片細微，基體是珠光體的高級的灰口鑄鐵。它的機械性質，類似孕育鑄鐵的。倘若加入液体鑄鐵的鎂量和矽量適當，就得到球墨鑄鐵。倘若加入液体鑄鐵足夠的鎂，不加入孕育劑，就得到白口鑄鐵。這白口鑄鐵，只要重熱到 860° 一小時，冷卻後就是可鍛鑄鐵。由此可見，球化劑鎂，不但和孕育劑一道，足以得到球墨鑄鐵。並且用球化劑鎂，可以得到高級灰口鑄鐵，它的機械性質相當於孕育鑄鐵的，但不必降低碳分、矽分。用球化劑鎂，可以幫助得到白口鑄鐵，便利了軋軋的生產。用球化劑鎂為可鍛鑄鐵打開了新的道路，放寬了碳分、矽分的範圍，能夠鑄造較厚的可鍛鐵鑄件。它的矽分較高，硫分很低，因此，使在高溫度可鍛化熱處理的時間縮短到百分之几。

三

1949 年也是各國發展球墨鑄鐵的初期。我試用各種鎂合金做球化劑並選用普通食鹽做熔制鎂合金的熔劑。球化劑用的鎂合金比重大，液線高，可以用食鹽做熔劑，食鹽的熔點是 803° 。而鑄造用的鎂合金比重小，液線低，用的熔劑例如含氯化鉀 55%，氯化鎂 34%，氟化鈣 2%，氯化鋇 9%。氯化鉀和氯化鎂的共晶溫度是四百多度。約從 1951 年起，我國工廠，廣泛地採用了食鹽作為熔制球化劑鎂合金的熔劑。食鹽的價格低，容易得到，便利了球墨鑄鐵的推廣。

1951 年起，進行大規模的工業生產，主要用銅鎂合金做球化劑。也曾比較大量地用鎳鎂合金、矽鐵銅鎂合金、矽鐵鎳鎂合金做球化劑。

先談一下液体鑄鐵的成分。

碳和矽 球化處理和孕育處理後液体鑄鐵的碳分和矽分如圖 1。在長期的工業生產中，原料的成分和性質不會始終相同。生鐵、廢鐵等鐵料的成分和種類經常改變，焦炭的等級和尺寸也有改變。此外，1951 年夏，配用的矽分較大。因此，在圖 1 上，處理後液体鑄鐵的碳分和矽分的範圍較寬。根據圖 1 的數據，結合各國文獻，可以說，尋常成分的液体灰口鑄鐵，經過球化處理和孕育處理都可以得到球墨鑄鐵。

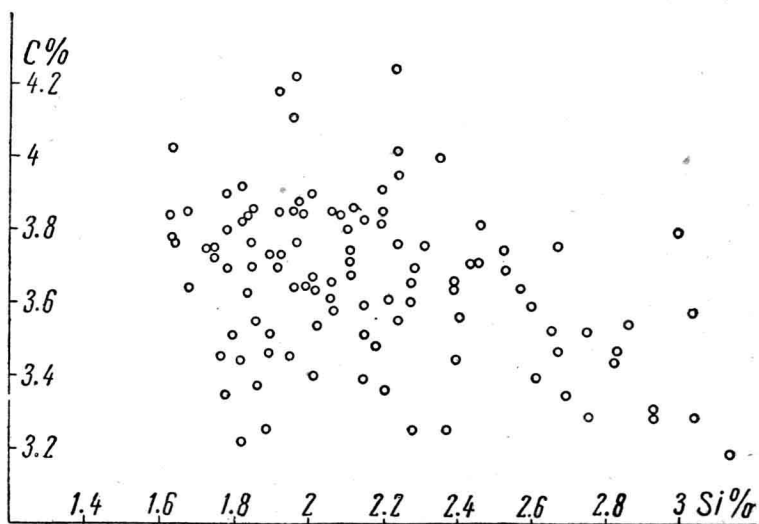


圖 1

可以把碳分 3.7%，矽分 2% 看做圖 1 的典型數據。

錳 處理後液体鑄鐵的錳分，極大多數接近 0.50—0.60%。當時已經知道，改變錳分，能將球墨鑄鐵的強度和延伸率改變一些。因為增加錳分時得到的經濟效果有限，不曾故意改變液体

鑄鐵中的錳分。只使用普通鉄料,得到上述錳分。

磷 磷分对球墨鑄鉄的机械性質影响很大。將在本節抗張強度和延伸率項下較詳細的說。

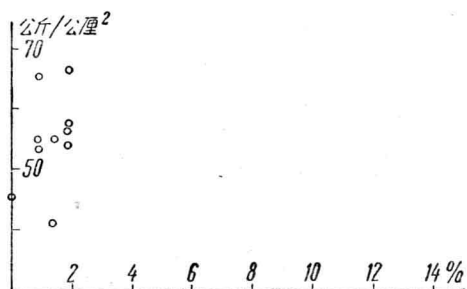


圖 2

含磷約 0.08% 或更多的球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率較差,如圖 2。含磷靠近 0.05% 或更少的球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率較好,如圖 4。參看圖 3。

硫 加入液体鑄鉄中的鎂,首先就和鑄鉄中的硫形成硫化物浮入渣中。它在鉄水包上,部分燃燒,造成濃厚的二氧化硫的气味。

处理前,液体鑄鉄的含硫量接近 0.06% 或更少。处理后,一般液体鑄鉄的含硫量降至十万分之几。

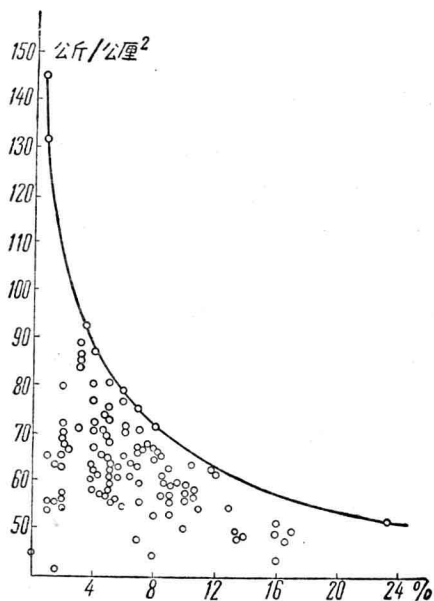


圖 3

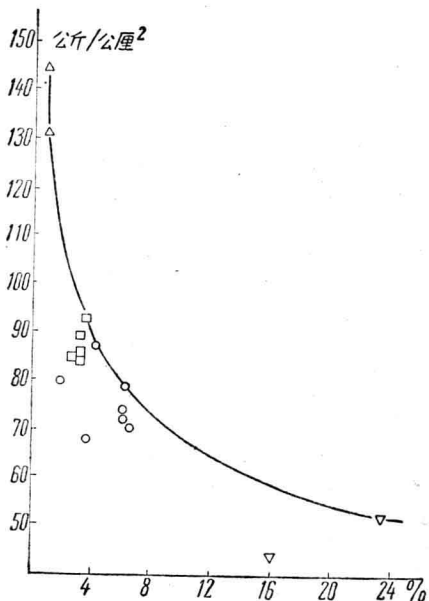


圖 4

其次,談一下球墨鑄鉄的机械性質。

抗張強度和延伸率的总圖

本報告關於抗張強度和延伸率的数据,都重新画在圖 3 中,以便看出主要的規律。低磷的球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率很高,看圖 3 中的圈。高磷的球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率較低,看圖 3 中的点。但普通灰口鑄鉄的強度和延伸率就更低了,分別地約小於 20 和接近零。

从圖 3 可以看出,代表磷分相近的球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率的各点,会組成一根形狀近於双曲線的曲線。在圖 3 中,画了一根曲線。磷分最低的各点,就接近这根曲線。

改变石墨化強度、合金分量、热处理方法等因素以提高延伸率,抗張強度就相应地減低。改

变这些因素以提高抗張強度,延伸率就相应地減低。这是和鋼的規律大致相同而又有些分別的。什么是大致相同之处呢? 改变鋼的碳分、合金分量、热处理方法以提高或減低鋼的抗張強度,鋼的延伸率就相应地減低或提高。什么是有些分別之处呢? 同一塊鋼,在淬火后和退火后,基体中的碳分相同。同一塊球墨鑄鉄,淬火后基体如高碳鋼,退火后基体如極低碳分的鋼。因此,和一塊鋼比較,一塊球墨鑄鉄經過热处理,就能在較寬的範圍內調整硬度和強度。

改变石墨化強度、合金分量、热处理方法等因素以提高或減低球墨鑄鉄的延伸率,球墨鑄鉄的抗張強度就相应地減低或提高。这是主要的規律。但石墨化強度、合金分量、热处理方法等因素也可能引起次要的影响。此外,各个試样的表面光滑程度,試驗速度等也不完全相同,也会对試驗的数据有些影响。上述兩类影响,就使磷分相同的各点不在一根曲線上。

磷提高鋼的強度,降低鋼的延伸率。一般說來,磷降低球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率。只当球墨鑄鉄的延伸率很高时,增加少量磷分可能輕微地增加抗張強度。

热 处 理

用热处理來改变球墨鑄鉄的抗張強度和延伸率的一个例如圖 4。試样用的球化剂是鎳鎂合金或銅鎂合金。在鑄出状态,以○代表,球墨鑄鉄的抗張強度是 65.5—86.5,延伸率是 2—7.5。正火后,以□代表,抗張強度是 84.3—96.5,延伸率是 3—4%。淬火后,以△代表,抗張強度,高至 144.1。退火后,以▽代表,延伸率高 23.5%,那时抗張強度是 52。当时用的淬火或退火的温度是 900°,時間可以是一小时。

在圖 4 上,也画了如同圖 3 上的一根曲線。它表示,用热处理提高抗張強度,延伸率就相应地減低;用热处理提高延伸率,抗張強度就相应地減低。当然,淬火后的低温回火,对抗張強度和延伸率是都有帮助的。

用热处理的方法,可以在 H_B 100—500 的範圍里改变球墨鑄鉄的硬度。有过 99—550 这样的数据。

使用鎂合金的效率:

在生產工作中,我們最常用的球化剂是銅鎂合金。用分批压入法,使用鎂合金的效率是較高的。例如,長期地用 0.8% 八二銅鎂合金。折合用鎂量 0.16%。和 1956 年各國文献比較,我們的使用效率还是比較高的。用 0.8% 八二銅鎂合金和 0.4% 矽鉄得到的球墨鑄鉄的机械性質如圖 5。抗張強度是 61—77,延伸率是 3—7。

銅和鎳的影响:

在工作中,感觉到,倘若含銅量和含鎳量相近,則含銅的球墨鑄鉄的強度較高而含鎳的球墨鑄鉄的延伸率較大。因此,在生產中,有意地改变銅鎂合金的成分和使用量或鎳鎂合金的成

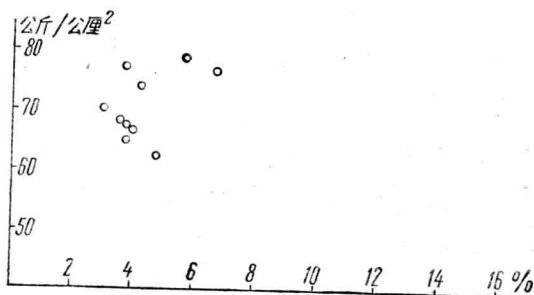


圖 5

分和使用量。这些結果指出,倘若含銅量和含鎳量相等,則前者的抗張強度高些,后者的延伸率大些。倘若都是含銅的球墨鑄鐵,則含銅較高的球墨鑄鐵的抗張強度較高,而含銅較低的球墨鑄鐵的延伸率較大。倘若都是含鎳的球墨鑄鐵,則含鎳較高的球墨鑄鐵的抗張強度較高,而含鎳較低的球墨鑄鐵的延伸率較大。

部分数据如圖 6。在圖 6 中,⑬、⑫、⑧、⑥、④ 分別代表含銅 1.6%, 1.2%, 0.8%, 0.64%, 0.45% 的球墨鑄鐵, ⑥、④ 分別代表含鎳 0.64%, 0.45% 的球墨鑄鐵。

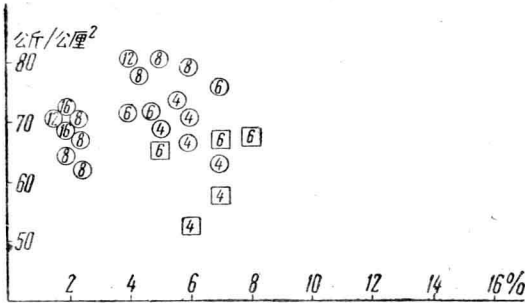


圖 6

世界銅產量是鎳產量的二十倍,銅的價格約鎳的一半。当时資本主义國家宣傳用鎳鎂合金处理得到的球墨鑄鐵的机械性質特別优越。美國鑄工雜誌 Foundry 有的文章甚至說,用銅鎂合金处理冲天爐熔得的液体鑄鐵,不能成功地得到球墨鑄鐵。我們証明,含銅量較少

的和含鎳量較多的球墨鑄鐵的抗張強度和延伸率完全相同。这就便利了球墨鑄鐵在我國的推廣。

經常用顯微鏡觀察組織。看見,球墨鑄鐵的銅分或鎳分較多时,則球墨鑄鐵的基体中珠光体較多。比較含銅量和含鎳量相等的球墨鑄鐵,則含銅的球墨鑄鐵的基体中珠光体較多。以往人們知道,鎳和銅对鑄鐵的石墨化是有帮助的。根据實驗数据,並重新考查以往文献,我以為,顯然,銅对鑄鐵的石墨化有兩方面的作用,既帮助石墨化的進行,也阻滯石墨化的完成。顯然,鎳对鑄鐵的石墨化也有這兩方面的作用,既帮助石墨化的進行,也阻滯石墨化的完成;只是鎳阻滯石墨化的作用較弱。增加球墨鑄鐵的銅分或鎳分,就会增加球墨鑄鐵基体中的珠光体,因此提高球墨鑄鐵的抗張強度並減低它的延伸率。此外,如同在鋼中的作用一般,銅或鎳微細化了珠光体,这作用会增加一些抗張強度並減低一些延伸率。

改变球化剂的合金种类以提高鑄出状态的延伸率:

比灰口鑄鐵,球墨鑄鐵的延伸率高得多,这是它的优点之一。比鑄鋼,球墨鑄鐵的延伸率低得多,这是它的缺点。採用退火热处理,会提高球墨鑄鐵的延伸率,但热处理增加成本。我們用矽鉄鎳鎂合金或矽鉄銅鎂合金做球化剂,得到鑄出状态延伸

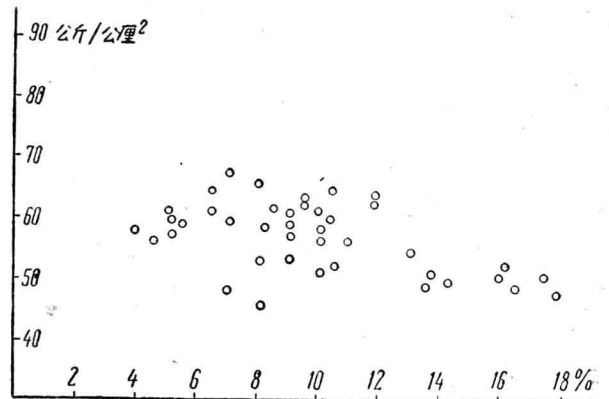


圖 7

率很高的球墨鑄鐵。用五三二矽鉄鎳鎂合金处理得到的球墨鑄鐵的抗張強度和延伸率如圖 7。例如,其中一次的結果是:

抗張強度	47.5	45.3	49.5	50
延伸率	18	8	14	16

試棒斷面的顏色

灰口鑄鐵的斷面是黑色的，它的斷面沿着許多石墨片裂開。白口鑄鐵的斷面是銀白色的，較粗。

一般球墨鑄鐵的斷面，或試棒斷面是淺白色的，較細。因為它的基體是鐵素體和珠光體。

退火後或鑄出狀態延伸率高的球墨鑄鐵試棒的斷面，正面看是深黑色，斜看是銀白色。因為它的基體是鐵素體。經過試驗，它的基體，被拉長了；試棒的斷裂處參差不齊，如同木料斷裂處一樣。正面看，暴露的是很多的石墨球，所以斷面的顏色深黑。傾斜看，只見許多尖形的鐵素體，所以斷面的顏色銀白。

關於熔化方法、處理方法、和鑄造性質，這裡只簡略地講一下。

因為使用鎂合金的效率 high，就能有把握地預料余留在液體鑄鐵中的鎂量，避免過多或過少，因此成品的機械性質高。因為使用鎂合金的效率 high，鎂的損耗少，處理後液體鑄鐵的溫度較高，夾渣較少。1956 年美國鑄工雜誌的廣告還吹噓用電弧爐熔化以保證得到機械性質高的球墨鑄鐵。用電弧爐熔化的成本高，設備貴；用沖天爐熔化的成本低，設備不貴。在 1951 年，我國工業就能夠用沖天爐熔化以獲得機械性質高的球墨鑄鐵。這種球墨鑄鐵的機械性質和資本主義國家用電弧爐熔化得到的球墨鑄鐵的機械性質齊平。理由就在，我國使用鎂合金的效率 high。

我們用分批壓入法，例如分四批壓入。壓入法比沖入法的效率高。分四批壓入，比一批壓入的效率高。能夠在兩分鐘內完成球化處理。

通常用 0.4% 矽鐵粉做孕育處理。

因為使用鎂合金的效率 high，球化處理時液體鑄鐵溫度下降得較少，處理前液體鑄鐵的溫度是 1325° 就可以了。國外不少報道要求 1400° 的液體鑄鐵，主要因為使用鎂或鎂合金的效率低，不少的鎂浪費掉了，它成為氣體跑掉了，吸收了很多的熱量，有的報道說，要降低液體鑄鐵的溫度 100°。

球墨鑄鐵的流動性，近於溫度相同的灰口鑄鐵的。

在工業生產中，因為使用球化劑沒有偏差，得到的球墨鑄鐵的直線收縮率，近於灰口鑄鐵的。但球墨鑄鐵有可能發生縮松，而鑄鋼的這可能性更大。和灰口鑄鐵不同，大多數球墨鑄鐵鑄件需要安排冒口，雖然比鑄鋼的冒口小得多。

和灰口鑄鐵、鑄鋼不同，球墨鑄鐵鑄件的表面光滑。球化劑和孕育劑減少了液體鑄鐵中溶解的氣體。

四

根據我們的工作，東北工業部在 1951 年秋籌備，並在 1952 年春召集球墨鑄鐵研究班。參加

研究班的有三十二个企業部門的七十多位工長至副工程師。这些企業部門包括撫順礦務局、鞍山鋼鐵公司、本溪湖煤鐵公司、鐵路工厂、重型机械厂、工作母机厂、紡織机械厂。在研究班以外还比較長期地帮助了三个企業部門的几位技術人員。这三十五个企業部門分佈在華北、东北、華东、和中南。

在研究班中，進行了实际操作，包括生產准备、各种生產方法、和成品檢查。也作了八十多小时的报告和討論，以补足有关的金屬知識、擴大眼界，並为繼續改進指出方向。

庫茨涅佐夫(Кузнецов)教授在1950年出版的“苏联的科学和技术的新成就”一書中說，“創造了獲得高性能鑄鐵(球墨鑄鐵)的方法，是祖國工程科学進展中的一件重要事情，因为它打开了每年節省几万万盧布的可能”。在各國研究和使用的球墨鑄鐵的初年，中國的工人階級，作为一个整体包括工人和知識分子，就迅速掌握和發展了關於球墨鑄鐵的知識。在1952年就出現了几千种球墨鑄鐵的產品。我國在產品質量、工藝方法、和理論知識的部分項目上，超出了当时資本主义國家的水平。今天，1956年，我國經常生產球墨鑄鐵的工厂已經遍佈全國。不但每年創造了几百万元的財富。並且，由於球墨鑄鐵的机械性質优越，生產設備簡單，它就加速了多种多样的機器和設備的生產，因而在加速祖國的社会主义工業化中作了一些貢獻。

根据自己的研究和生產經驗，結合各國报道、我在球墨鑄鐵出現的初年就指出在机械性質上球墨鑄鐵可以方便地代替高級灰口鑄鐵、孕育鑄鐵和可鍛鑄鐵，可以代替部分鑄鋼。也指出，虽然球墨鑄鐵的性質和鍛鋼、鑄銅的性質很有分別，为了經濟的原因球墨鑄鐵也會比較大量地但是勉強地代替一些鍛鋼和鑄銅。曾經有机会先后和各种企業分批座談球墨鑄鐵在該企業的应用。

目前，我們正在軋輥和鋼錠模方面做一些工作。

先說軋輥：

球墨鑄鐵不但能夠代替別的鑄造合金，例如上面說到的孕育鑄鐵、可鍛鑄鐵等。球墨鑄鐵还有它特別適宜的用途，例如，曲軸、泵体、活塞环、軋輥。在直接参加生產工作时都做過少数。軋輥是軋鋼厂的重要工具，也是面粉厂、橡膠厂的工具。鞍山鋼鐵公司在制造球墨鑄鐵軋輥方面已經作出重要的貢獻。我以為，根据多种多样的球墨鑄鐵的性質，还可以進一步提高球墨鑄鐵軋輥的質量，並擴大它的使用範圍。

再說鋼錠模：

鋼錠模是煉鋼厂的重要工具。1955年盧浦卓夫(Рубцов)教授說，苏联的鋼錠模消耗率約为鋼錠的3%，倘若將消耗率降低到2%，每年就能節約一万八千万盧布。在作了關於鋼錠模的討論三十頁后，他說，在考慮提高鋼錠模的使用寿命之时，球墨鑄鐵應該是首先想到的。我在1951年秋，参加了几个球墨鑄鐵鋼錠模的制造。1952年鋼厂的消息說，已用了二百多次。这样看來，就是同形式的鋼錠模的使用寿命的三倍。1955年葛尔希哥夫(Горшков)教授說，球墨鐵鑄件的成本比相似的灰口鐵鑄件的成本只高出六分之一。因此，应用球墨鑄鐵做鋼錠模有可能顯著地降低鋼錠模的消耗率，从而每年節約約几百万元。

近來，我們訪問了某企業。他們热情地引導我們作了全面的了解。我們寫了意見書，作为意

見書的末尾提出了約二十條關於改進灰口鑄鐵鋼錠模和制造球墨鑄鐵鋼錠模的建議，並參加了座談會。

下面，簡略說一下關於鋼錠模的初步看法。

鋼錠模是在嚴重的條件下工作。注入的液體鋼靠近 1500° 。鋼錠模的報廢原因是龜裂、縱裂、沖坑等。在圖 8 中，1 是鎮靜鋼的鋼錠模，7 是沸騰鋼的鋼錠模。2 和 8 是它們的內部表面產生了龜裂的示意圖。鎮靜鋼錠模的龜裂現象首先在下方出現。沸騰鋼錠模的龜裂現象往往先在中部出現。9 是沸騰鋼錠模縱裂的情形。3 和 5 是鎮靜鋼錠模出現沖坑的情形，4 和 6 是相應的鋼錠。沖坑較小時，如 3，鋼錠模不報廢。

菲立波夫 (Филипов) 說，關於鋼錠模的文章有七百多篇。他又說，某大工業地帶在最近二十年改變灰口鑄鐵的成分、採用孕育、或採用熱處理，都不曾改進灰口鑄鐵鋼錠模的使用壽命。許多作家指出，關於鋼錠模的成分和顯微組織的意見是非常分歧的。從圖 9 可以看出，蘇聯各工廠和各作家引用的鋼錠模的碳分和矽分的範圍很寬，並且不

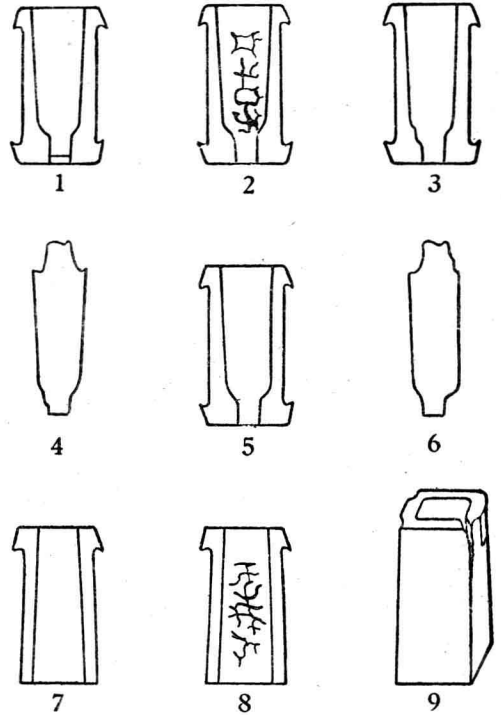


圖 8

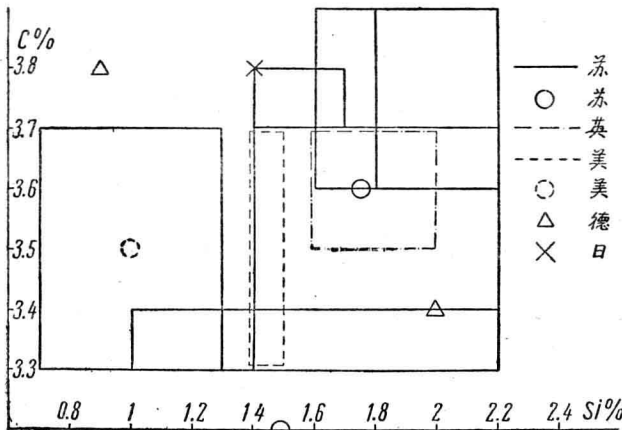


圖 9

同。其他各國的鋼錠模的成分也是差別很大。

但是，若從更基本性質，例如鑄鐵的生長現象、熱應力、強度、延伸率來看鋼錠模的使用壽命，那麼，情形是比較清楚的。

經過反復加熱到較高溫度和從這溫度冷卻，灰口鑄鐵的體積逐漸增大，它的強度和韌性更降低。這叫做生長現象。它的原因是，在高溫度外界氧氣沿石墨片滲入鑄鐵形成氧化物，鑄鐵基體中珠

光體中的西門吉體也繼續石墨化。灰口鑄鐵的生長現象，是產生龜裂的重要原因，但不是惟一的原因。鋼錠模內壁反復加熱和冷卻引起的熱應力也是引起龜裂的原因。鋼錠模是用水冷卻的。在冷卻之時，內部表面先收縮，而次於內部表面的一層後收縮，反復若干次後，有可能在內部表面出現輕微的龜裂紋。經過反復加熱到高溫度和從這溫度冷卻，鋼料表面也會出現龜裂紋。但灰口鑄鐵的基體被石墨片嚴重地分割，既弱且脆，又有生長現象，因此灰口鑄鐵的龜裂現象就

特別顯著。鋼錠模的使用次數增加，鋼錠模內部表面的龜裂深度和蔓延面積都增加，一直到內部表面過分粗糙而報廢，或因引起大裂痕而報廢。

倘若鋼錠模出現縱裂，則比較常見於最初幾次注錠之時。剛剛注錠之後，鋼錠模內壁和外壁的溫度差可到 800° ，因此引起很大的熱應力。但灰口鑄鐵的強度低。這樣，就可能引起縱裂。

在鑄鐵的鋼錠模中澆注鋼，就如同在冰模中澆注溫水。澆注時，倘若鋼流沒有對準鋼錠模的中心，或鋼錠模內壁的塗料不夠，就會溶化掉鋼錠模的一部分內壁，造成沖坑。

和灰口鑄鐵比較，球墨鑄鐵的基體是比較連續的。外界氧氣不容易滲入球墨鑄鐵內部。和灰口鑄鐵比較，球墨鑄鐵的生長現象是不顯著的。球墨鑄鐵的強度是灰口鑄鐵的強度的幾倍。球墨鑄鐵的延伸率可以是灰口鑄鐵的延伸率的幾十倍。很可能，球墨鑄鐵鋼錠模的龜裂現象出現得晚，並基本上避免了縱裂掉耳、掉皮等現象。此外，球墨鑄鐵的鑄件表面光滑，對提高鋼錠的表面質量也是有帮助的。倘若我們在 1951—1952 年採用球墨鑄鐵以提高鋼錠模的使用壽命三倍的数据能夠在大量生產的情況下被證明為确切有效，那麼，這措施就將降低鋼料成本。

前幾年，球墨鑄鐵的產量以每年十倍的速度增加。近年，在數量上球墨鑄鐵的產量的增加還是很快的。在祖國社會主義工業化的工作中，球墨鑄鐵將會完成日益增多的任務。

討 論

中國科學院 師昌渚：磷是否使球化程度降低，因而減低機械強度？

王遵明：在可以比較的情況下，磷高則球墨鑄鐵的強度低。不是因為球化作用不完全。實際上球化作用是完全的。而是因為太脆，因而強度表現得差。延伸率很高的鐵素體球墨鑄鐵，增加一些磷，有時可以將強度略提高。

中國科學院 師昌渚：鑄鐵中含氧量如何？鎂加入後，是否會被氧化掉？為什麼鎂忽而附着，忽而離開？

王遵明：液體鑄鐵中是含氧的。加入的鎂，也被氧化掉一些，但較少。主要還是和液體鑄鐵中的硫化合，損失較多。倘加入鎂量過分時，例如 0.6%，很多鎂揮發成氣體，在液體鑄鐵表面氧化。

估計鎂不會在液體鑄鐵中形成穩定的碳化鎂。

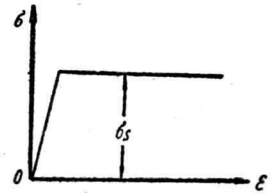
第二機械工業部四局主任工程師 榮科：我們做了些球墨鑄鐵的鑄件，得到的強度和延伸率的數值，和王先生的近似。國內做成球墨鑄鐵的地方很多，但還沒有進一步擴大使用範圍。主要原因是，機械設計工程師保守，不敢用，希望作出很多數據來廣泛宣傳，使設計師敢於用球墨鑄鐵，給國民經濟帶來好處。

金屬切削的塑性變形理論

一 引言

研究金屬切削過程的物理和力學性質是研究加工品質，刀具性能和改進工藝的基礎。

塑性合金的切削過程是塑性變形的過程。鋼料退火後進行高速切削時，變形區域的溫度可達 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 。這時金屬的硬化作用很小。線性應力和應變的關係如圖 1 所示，可以看作是理想塑性體。如切削剖面接近於平行四邊形，切深 t 和送進 s 不等，像



那末一個方向的變形量很小，金屬變形的情形接近於平面變形狀態。本文是將鋼料高速切削時的切屑形成作為理想塑性體的平面變形問題來處理並得出它的解。

圖 1 鋼料在高溫時的線性應力應變關係。

目前，金屬切削過程的理論一般是把它看作單向受壓的變形狀態，並引用最大剪應力的塑性條件來處理，這和實際情形常有不符合的地方。

二 平面塑性變形問題的一般解

設一物體的變形是平面變形狀態，變形平面和 x, y 坐標平面平行。 z 軸和這平面垂直。那末所有和標號 z 有關的變形量都等於零，即

$$e_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0。$$

由應力和應變關係，得

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0，$$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \sigma； \quad (1)$$

因此變形能量不變的塑性條件成為

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = \frac{3}{4}\sigma_s^2 = 4\tau_s^2， \quad (2)$$

式中 τ_s 是剪切屈服極限。

取一直角三稜柱微體，稜邊和 z 軸平行，直角邊和 x, y 軸重合如圖 2，現我們求主應力 σ_1 ，

σ_2 和最大剪应力 $\tau_{\max}$ 和其方向。設任意斜面上的正应力 σ_γ 和剪应力 $\tau_{\gamma s}$, 斜面法線和 x 軸所成角度 θ 。那末 σ_γ 和 $\tau_{\gamma s}$ 可由下式求出:

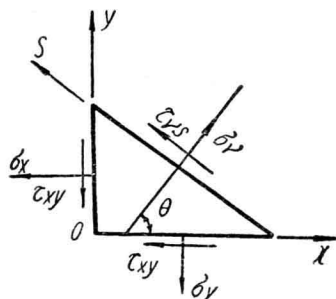


圖 2

$$\sigma_\gamma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta,$$

$$\tau_{\gamma x} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta. \quad (3)$$

求 σ_γ 对 θ 的極值, 得主应力軸方向为

$$\operatorname{tg} 2\theta_{1,2} = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}, \quad (4)$$

主应力 σ_1 和 σ_2 的数值是

$$\sigma_1 = \sigma + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2},$$

$$\sigma_2 = \sigma - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2},$$

式中 $\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \sigma_s$ 。

而最大剪应力 $\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right| = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} = \tau_s$ 。 (5)

現求在平面內最大剪应力作用的方向。設参数 α, β 是曲線坐标, 相当於圖 2 中的 ν 和 s , α 線(ν)和 x 軸所成的角度 θ_α 。由 $\tau_{\gamma s}$ 对 θ 的極值, 得最大剪应力作用方向是

$$\operatorname{tg} 2\theta_{\alpha, \beta} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} = -\frac{1}{\operatorname{tg} 2\theta_{1,2}}, \quad (6)$$

根据上式, 可知

$$\theta_\alpha = \theta_1 + \frac{\pi}{4}, \quad \theta_\beta = \theta_2 + \frac{\pi}{4},$$

也就是說 α 和 β 線和主要应力軸成 45° 。

設 φ 代表作用有最大剪应力 $\tau_{\max}$ 的 α 線和 x 軸所成的角度, 那末

$$\theta_\alpha = \varphi, \quad \theta_\beta = \varphi + \frac{\pi}{2}。$$

在物体塑性变形区域内, α 和 β 線組成正交網絡, 成为滑移線。它們和主应力跡線的关系如圖 3 所示。

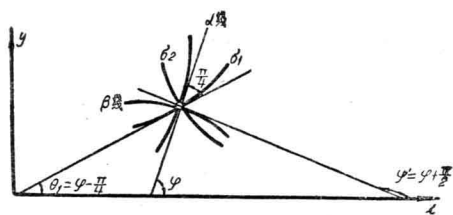


圖 3 滑移線和主应力跡線。

將所有应力用平均应力 σ 和 φ 角來表示, 由 (6) 式得

$$\sigma_x - \sigma_y = -2\tau_{xy} \operatorname{tg} 2\varphi,$$

由 (5) 式得

$$\tau_{xy} = \pm \tau_s \cos 2\varphi,$$

因此得

$$\sigma_x - \sigma_y = \mp 2\tau_s \sin \varphi。$$

但

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2},$$

解上兩式, 得

$$\sigma_x = \sigma \mp \tau_s \sin 2\varphi; \quad \sigma_y = \sigma \pm \tau_s \sin 2\varphi。$$

取这些方程式的上号, 得关系式

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma - \tau_s \sin 2\varphi, \\ \sigma_y &= \sigma + \tau_s \sin 2\varphi, \\ \tau_{xy} &= \tau_s \cos 2\varphi. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

如在物体边界上或物体内部一点的正应力 σ_ν 和剪应力 $\tau_{\nu s}$ 已知, 那末所有其他应力 σ 和 τ 也可求出。假定这平面的法线和 x 轴成 θ 角。解(3)和(7)式得

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \sigma_\nu - \tau_s \sin 2(\theta - \varphi), \\ \cos 2(\theta - \varphi) &= \frac{\tau_{\nu s}}{\tau_s}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

以 x, y 作坐标轴, 变形物体内部微体的平衡微分方程式是

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

将 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ 以(7)式中数值代入上式, 得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2\tau_s \left(\cos 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \sin 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) &= 0, \\ \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2\tau_s \left(\sin 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \cos 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) &= 0. \end{aligned}$$

将第一式对 y 偏微分, 第二式对 x 偏微分相减消去 σ , 得

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + 2 \operatorname{ctg} 2\varphi \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} - 4 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + 2 \operatorname{ctg} 2\varphi \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 \right] = 0 \quad (10)$$

这是 φ 的二阶线性偏微分方程式。它的特征方程式是

$$dy^2 - dx^2 + 2 \operatorname{ctg} 2\varphi dx dy = 0. \quad (11)$$

由这式可得两解: $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \varphi$, 和 $\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}$. (12)

由(12)式和图3所表示的关系, 可以很清楚地看到特征曲线系和 α, β 滑移线系重合, 也就是说滑移线系是方程式(10)的解。

为要找出滑移线, 我们先研究一下曲线坐标上滑移微体的平衡, 如图4中的 $O'ABC$ 。设曲线坐标 α, β 的基元弧长 ds 的方程式是

$$ds^2 = A(\alpha, \beta) d\alpha^2 + B(\alpha, \beta) d\beta^2, \quad (13)$$

那末, α, β 线的基元线长 $ds_1 = A d\alpha, ds_2 = B d\beta$ 。

在 α 线上 ($\beta = \text{常数}$), 当 α 值增加时, 切线坡度 φ 角也随着改变。设由 O' 点转变到 A 点, 那末它的改变值是

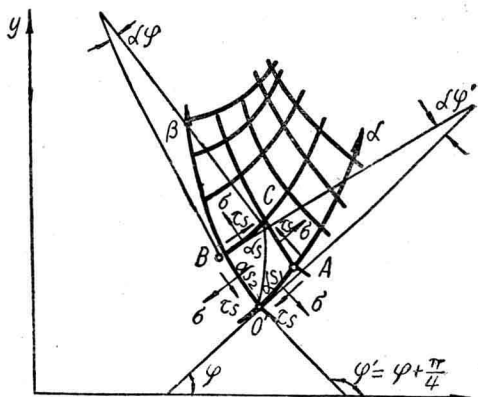


图4 滑移线网络。

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} d\alpha = -\frac{\partial(A d\alpha)}{B \partial \beta} = -\frac{1}{B} \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha.$$

同理可得

$$d\varphi' = \frac{\partial \varphi'}{\partial \beta} d\beta = \frac{1}{A} \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\beta。$$

因

$$\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2},$$

所以

$$\frac{\partial \varphi'}{\partial \alpha} = \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha}; \quad \frac{\partial \varphi'}{\partial \beta} = \frac{\partial \varphi}{\partial \beta}。$$

將作用在滑移微体上所有的力投影在 α 方向, 可以得

$$\frac{\partial(\sigma ds_2)}{\partial s_1} ds_1 + \frac{\partial(\tau_s ds_2)}{\partial s_2} ds_2 - \sigma ds_1 d\varphi' - \tau_s ds_2 d\varphi = 0。$$

微分后並將它簡化, 得

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial \alpha} - 2\tau_s \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial \beta} + 2\tau_s \frac{\partial \varphi}{\partial \beta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

同理將所有力投影在 β 線方向, 得

將(14)式積分, 可得

$$\left. \begin{aligned} \sigma + 2\tau_s \varphi &= \xi(\alpha) \\ \sigma - 2\tau_s \varphi &= \eta(\beta) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

对已知滑移線來說, 上式的積分就是理想塑性体平面变形問題的一般解。这積分要適合於載荷的边界条件。

設 R_α 和 R_β 代表 α 和 β 線的曲率半徑, 因此

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{R_\alpha} = \frac{d\varphi}{A d\alpha} &= -\frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta}; \\ \frac{1}{R_\beta} = \frac{d\varphi'}{B d\beta} &= \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha}。 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

由(14)式消去 σ , 可得

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha \partial \beta} = 0 \quad (17)$$

將(16)式代入上式, 得

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{A}{R_\alpha} \right) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{B}{R_\beta} \right) = 0。 \quad (18)$$

根据(18)式的关系, 我們可以用簡單的几何方法求出滑移線。兩互相垂直的直線系和圓弧和它相正交的半徑組成的線系都適合於(18)式, 所以都是滑移線的解。因對於這兩種線系來說; A, B, R_α, R_β 都是常数。現証明如下:

对互相垂直的直線系,

$$\begin{aligned} d\alpha &= dx, & d\beta &= dy, \\ A &= B = 1, & R_\alpha &= R_\beta = \infty。 \end{aligned}$$

對於圓弧和它相正交的半徑系,

$$\begin{aligned} d\alpha &= d\gamma, & d\beta &= \gamma d\theta, \\ A &= 1 & B &= \gamma = \text{常数}。 \end{aligned}$$

將以上关系代入(18)式, 完全適合。