

高合金工具钢的金相制备

钢材按化学成分大致可分为三类：

- 碳钢
- 含少量合金元素的低合金钢
- 合金元素含量高于6%的高合金钢

除碳元素外，高合金钢中还含有铬、镍、钒、钨和钼等大量其他合金元素。耐磨性、韧性、强度及硬度是工具钢最重要的特性，而上述合金元素有助于改善和优化这些力学性能，如果添加足够的合金元素，还可产生在高温条件下防腐耐热和保持硬度、低温条件下保持强度等特性。

当今各行业对先进生产技术的要求不断提高，并承受着各种经济压力，因此要求钢材生产厂家不断提升高性能工具钢合金材料的质量，满足各种特殊用途和所需要求。以冲床、模具或切割工具制造中所使用的钢材为例，这种钢材要求具备高强度、高硬度和高韧性等特性。另外，此类钢材对清洁度也有很高的标准。这些特性只有通过认真控制各道炼钢工序及后续锻造/轧制及热处理工艺方可获得。

钢材生产厂家在生产优质合金工具钢时，其金相分析部门主要需要具备以下要求：

- 高效处理大块试样；
- 尽可能对所有钢材质量采用同一标准程序；
- 在不损伤碳化物和夹杂物的前提下确保表面充分抛光。

这一点对于含有碳化物和夹杂物的超洁净钢的结构评估尤为重要。

金相试样评估的主要内容包括碳化物分布与尺寸、硬化后回火处理的钢的脱碳检测、显微偏析及夹杂物评级。



冷加工工具钢
冲孔工具



塑模钢用5%苦味酸浸蚀溶液蚀刻后，原本无定形的马氏体经过高倍放大显现出一些单体针状和板状。

金相制备过程中面临的难题

切割：
高效无过热切割。



图1：切割条件不当导致的热损伤

研磨与抛光：大块试样的处理。在平面磨削的过程中，极细的碳化物和夹杂物可从软质晶体中脱落；大型碳化物则发生破裂。



图2：破裂的一次碳化物

解决方案：

- 选择合适的切割轮
- 使用自动研磨和抛光设备
- 对研磨造成的机械损伤进行充分的金刚砂抛光

高合金工具钢的生产与应用

高合金钢的生产是一个复杂的熔炼与重熔过程。首先，在电弧炉中将铁和分选好的废钢熔化后，浇铸到铸模中或连铸成钢坯或钢锭。这些初级产品可进一步加工成棒材或板材，满足多种应用领域的需求。初级产品还可作为二级炼钢工艺的生产原料，生产更高质量要求的钢材产品。二次炼钢工艺可以是采用真空感应熔炼加真空电弧熔炼或电渣重熔法的双联重熔或甚至是三联重熔工艺，该工艺也可在控制压力和气体保护的条件下完成。

二次炼钢工艺的主要目的是减少氧化物、硫化物和硅酸盐等夹杂，通过后续重熔提高清洁度，生产出同质的、具有优异力学和物理性能的钢锭。这种能源密集型重熔工艺成本较高，这一点可从具有特殊用途的耐高温、耐腐蚀马氏体及热加工工具钢的价格上反映出来。

高合金钢种类繁多，一部分产品专为某些要求极其苛刻的应用领域量身定制。下文例举了一些高合金工具钢及其应用，其中包括各种主要合金元素的近似含量：

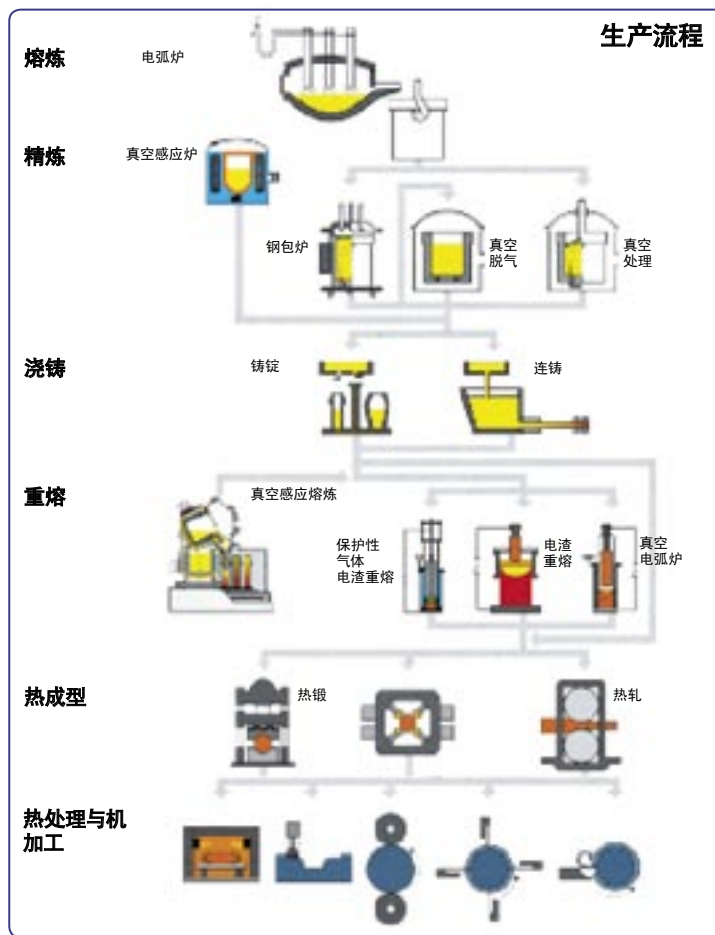


图3: 高合金工具钢生产流程

冷加工工具钢：碳1.6-2%，铬5-12%，用于冲孔工具、冲压工具、深拉工具、滚丝工具、剪切刀片等。
特性：高韧性、高抗压强度和耐磨性，良好的氮化性能。

热加工工具钢：碳0.38%，铬5%，钼1.5-3%，钒0.5%，用于压铸工具。
特性：较高的热强度、韧性及耐磨性，较高热疲劳抗力和抗震性。

高速工具钢：碳0.75-1.3%，铬4.5%，钒2%，钨6-18%，钼4-9%，用于丝锥、车刀和铣刀。
特性：在高温状态下可保持硬度和韧性。

塑料模具钢：碳0.3%，铬12-17%，用于汽车、医疗及消费品行业的铸塑零部件。
特性：通过抛光可实现极高的表面光洁度，具有出色的韧性和硬度以及良好的耐腐蚀性。

此类钢材用于制造工具时可按已回火的条件使用。机加工完成后，采用氮化或感应淬火方法对工具表面硬化处理。工具的工作条件千变万化，有时甚至在极端条件下使用。因此，工具钢合金的变化范围很广，您可针对各种恶劣及苛刻的工具应用条件做出最佳选择。



高速切割工具



热加工工具钢压铸工具



模塑工具

高合金工具钢金相制备中面临的难题

工具钢的热处理性能是工具钢的质量评定标准之一。为了真实呈现其实际结构，必须避免切割过程中的热影响。切割大型断面和失效分析试样时，金相制备步骤的实施必须十分谨慎。

碳化物和非金属夹杂物的残留是高合金工具钢研磨与抛光的主要难题。冷加工工具钢中的一次碳化物体积很大，在研磨过程中极易破裂。在充分退火的状态下，二次碳化物非常细小，可轻易地从软质金相中脱落。（见首页图2中破裂碳化物的显微照片）。

在各道生产工序中对大块高合金工具钢试样进行处理是一项具有挑战性的工作，要求非常有效地组织作业流程、自动设备和标准程序。



高合金钢金相制备的推荐方案

切割

大多数试样通常采用机械方法将板材和初轧材料粗略地分割成标准尺寸。热处理试样或失效分析试样的高标准切割均采用金相切割机完成。高合金工具钢对热损伤极其敏感。因此，须认真选择合适的切割轮并确保切割时对其充分冷却。

建议选择用软氧化铝或树脂粘合的立方氮化硼切割轮。



镶样

根据试样尺寸和体积以及需要从试样中获得的信息，可不镶、热镶或冷镶试样。要求良好的边角保护且表面经过处理的试样应采用纤维加强树脂（IsoFast、DuroFast）进行热压镶样。无边角保护要求的试样如果尺寸与试样座匹配，则无需镶样。试样尺寸标准化有利于大块试样的处理，建议在长方形硅或聚丙烯杯状模中（Uni-Form）采用冷镶法。注意：冷镶树脂的收缩率很小，试样与树脂之间不会产生缝隙，避免了污渍残留。



研磨与抛光

高合金工具钢试样制备的主要要求有：真实呈现碳化物的形状、含量和尺寸并在未变形基

体中保留非金属夹杂物。大块高合金钢试样采用全自动研磨抛光机加工可获得最佳效果，确保了作业流程快速高效、加工结果具有可再现性。由于工具钢硬度较高，用金刚砂精磨比用碳化硅砂纸研磨更高效、更经济。有时，金刚砂抛光工序结束后用氧化物进行一次终抛光会有助于碳化物的对比和鉴别。

以下所述为使用全自动和半自动研磨抛光设备的推荐制样方法。

这些方法是在根据制样经验提出来的，制备的试样可带来优异的再现性。必要时可根据具体要求或个人喜好稍作改动。



研磨			
步骤	PG	FG	
表面	150# 石材	MD-Allegro	
悬浮液		9 微米	
润滑剂	水	蓝色	
每分钟转数	1450	150	
力 [牛]	300	300	
时间	根据需要	9 分钟	

抛光			
步骤	DP 1	DP 2	
表面	MD-Dac	MD-Nap	
悬浮液	6 微米	1 微米	
润滑剂	蓝色	蓝色	
每分钟转数	150	150	
力 [牛]	300	150	
时间	6 分钟	4 分钟	

表1: 用大型自动设备制备高合金工具钢的方法

表1为6件试样的制备数据, 试样尺寸65x30毫米, 可不镶或冷镶, 研磨抛光设备为司特尔MAPS或AbraPlan/AbraPol。

试样尺寸较小、数量较少时, 使用半自动研磨抛光设备也可获得具有良好再现性的制备结果。

表2所示的制备数据来自6件30毫米、固定在试样座上的已镶试样, 研磨抛光设备为配备TegraDoser-5的司特尔TegraPol-31/TegraForce-3型研磨抛光设备。

研磨			
步骤	PG	FG	
表面	MD-Piano 220	MD-Allegro	
悬浮液		DiaPro Allegro/Largo	
润滑剂	水		
每分钟转数	300	150	
力 [牛]	210	210	
时间	根据需要	9 分钟	

抛光				
步骤	DP 1	DP 2	OP 1*	
表面	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem	
悬浮液	DiaPro Dac	DiaPro Nap B	OP-AA	
每分钟转数	150	150	150	
力 [牛]	210	150	90	
时间	6 分钟	1 分钟	1 分钟	

备注: DiaPro金刚砂悬浮液可按以下方式用DP-Diamond悬浮液P替代: FG用9微米替代, DP 1用3微米替代, DP 2用1微米替代。

*可选

表2: 用台式半自动设备制备高合金工具钢的方法

蚀刻与结构分析

蚀刻

蚀刻之前通常需要先检查工具钢试样, 鉴别夹杂物及碳化物的尺寸和组成。可采用各种浓度的奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液或苦味酸呈现其结构。例如, 展现冷加工工具钢中碳化物的分布情况时, 使用10%的奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液可使基体颜色变深, 突出显示白色一次碳化物。对于微细球状珠光体, 在苦味酸中浸泡

片刻后再使用2%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液, 可产生良好的衬度并防止锈蚀。

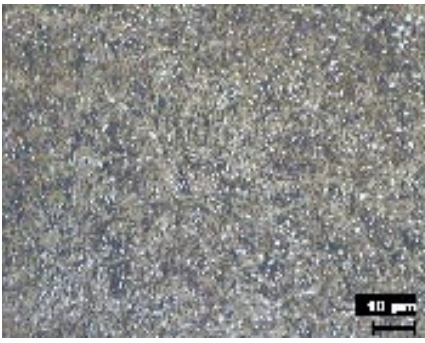
混合及操作蚀刻溶液时必须遵守标准安全防护措施。



图4: 用10%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻后的冷加工工具钢可突出显现出白色的一次碳化物。



图5: 用苦味酸和奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻后的热加工工具钢呈现球状珠光体。



经过最终热处理后的高速工具钢，带有碳化铬的马氏体结构非常精细。

奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液：

100毫升乙醇

2-10毫升硝酸（注意：溶液浓度切勿超过10%，小心爆炸！）

苦味酸蚀刻溶液：

100毫升乙醇

1-5毫升盐酸

1-4克苦味酸

结构分析

高合金钢的结构一般与常规的钢铁材料相同：铁素体、珠光体、马氏体和奥氏体，但是，固溶体可吸收一定量的合金元素。碳可与合金化元素，例如铬、钨和钒等形成成分复杂的碳化物。另外，碳在铁中的溶解性会发生变化：添加硅、铬、钨、钼和钒等合金元素可使铁-铁碳相图的 α 区增大，而添加镍和锰则可使 γ 区增大。这些特性均会影响时间-温度的变化，而时间-温度的变化对于工具钢热处理具有特别重要的作用。

冷加工工具钢的基本结构为莱氏体。其粗糙结构通过热轧或热锻被转换为带有大块一次碳化物的铁素体（图6）。通过后续全退火处理，可形成二次精细碳化物（图7）。

热加工工具钢在经过完全热处理后可呈现出理想的淬火马氏体并带有非常细微的球状珠光体（图5）。化学成分偏析可导致腐蚀问题，所以，应通过热处理使一次结构的偏析尽可能达到均匀，这一点很重要（图8）。

塑模钢是一种耐腐蚀工具钢，热处理之前呈现为带有串状碳化物的“无定形”马氏体（图9）。退火后则呈现为微细弥散状分布的碳化物（图10）。

碳化物在工具钢中分布的均匀程度可采用粉末冶金法加以改善。通过粉末制造工艺和后续的热等静压，可制成同质、无偏析的钢产品，特别适合制造具有非常规几何形状的刀具，如用机械方法制造这种刀具，成本将相当昂贵（图11和12）。

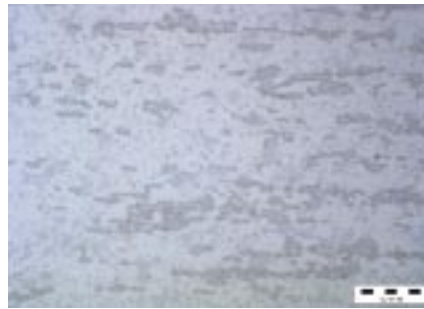


图6：经过初步热成型后的冷加工工具钢，铁素体中出现大块的一次碳化物



图7：经过充分热处理后，冷加工工具钢呈现出微细弥散分布的二次碳化物和细小白色的一次碳化物



图8：呈现偏析现象的热加工工具钢

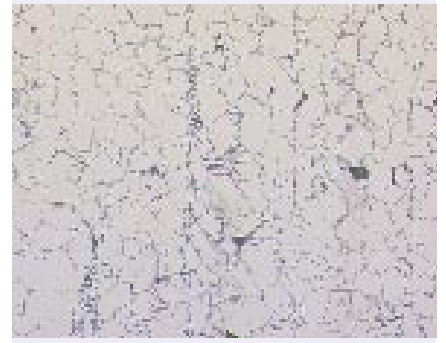


图9：塑模钢用5%苦味酸蚀刻后，无定形马氏体中带有串状一次碳化物



图10：退火后，塑模钢呈现出非常微细的碳化物

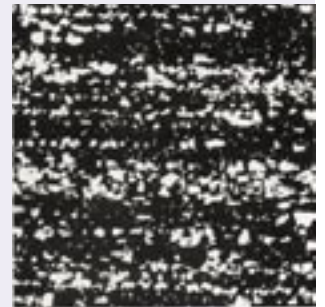


图11：采用传统生产方法生产的钢材中碳化物的分布情况



图12：采用粉末冶金法生产的钢材中碳化物的分布情况



司特尔(上海)国际贸易有限公司
上海市南京西路580号南证大厦
2705室, 200041
电话 +86 (21) 5228 8811
传真 +86 (21) 5228 8821
struers.cn@struers.dk

结语

当前, 越来越多份额的高合金工具钢的生产是为了满足客户的各项应用而量身定制的, 从而要求制造商生产出的材料不但洁净度高, 且具有特定的力学、物理和冶金特性。从最初的铸造和成型工序一直到最终生产出半成品和热处理产品, 金相检测是制造和热处理工艺必不可少的控制手段。

大块试样的处理以及如何稳定保证优异的表面抛光效果, 是金相制备需要应对的主要挑战。碳化物和夹杂物的尺寸、形状和分布是工具钢的主要质量指标, 因此, 必须在制备过程中对这些指标予以保留。自动研磨和抛光工艺采用金刚砂进行精磨和抛光, 可获得良好的可再现结果。一种适合于各类工具钢的制备方法使试样的处理过程变得简单而高效。

应用说明

高合金工具钢的金相制备

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen
Judy Arner, Struers Inc, Westlake, Ohio, USA
Bill Taylor, Struers, Ltd., Glasgow, UK

参考书目

Schumann, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968
Dohmke Verlag W. Giradet, Essen, 1977
Metals Handbook, Desk Edition, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1985
Color Metallography, E. Beraha, B. Shpigler, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1977
Metallographic etching, G. Petzow, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1978

致谢辞

特此对奥地利卡芬堡Bohler Edelstahl GmbH向我们慷慨提供信息和试样材料并允许我们复制第2和第3页中的图纸和照片、第5页中的图11和图12、第1页中的冲孔工具照片以及第6页中的冲压工具照片表示感谢。另外, 特别感谢J. Hofstatter和A. Dreindl的热忱合作。

欲进一步了解文中提及的各种司特尔设备、配件及易耗品, 请浏览我公司网站www.struers.com或垂询司您当地的司特尔业务代表。

CHINA

Struers (Shanghai) Ltd.
Room 2705, Nanzheng Bldg.
580 Nanjing Road (W)
CN - Shanghai 200041
Phone +86 (21) 5228 8811
Fax +86 (21) 5228 8821
struers.cn@struers.dk

DEUTSCHLAND

Struers GmbH
Karl-Arnold-Strasse 13 B
D-47877 Willich
Telefon +49(02154) 486-0
Telefax +49(02154) 486-222
verkauf.struers@struers.de

ÖSTERREICH

Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Ginzkeyplatz 10
A-5020 Salzburg
Telefon +43 662 625 711
Telefax +43 662 625 711 78
stefan.lintschinger@struers.de

SCHWEIZ

Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnstrasse 41
CH-8903 Birmensdorf
Telefon +41 17 77 63 07
Telefax +41 17 77 63 09
rudolf.weber@struers.de

CZECH REPUBLIC

Struers GmbH
Ocelářská 799
CZ-190 00 Praha 9
Tel. +420 2 84 818 227
Fax +420 2 660 32 278
david.cernicky@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Lirowa 27
PL-02-387 Warszawa
Tel. +48 22 824 52 80
Fax +48 22 882 06 43
grzegorz.uszynski@struers.de

HUNGARY

Struers GmbH
Magyarországi fióktelep
Puskás Tivadar u. 4
H-2040 Budaörs
Phone +36 (23) 428-742
Fax +36 (23) 428-741
zoltan.kiss@struers.de

Struers A/S

Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk

FRANCE

Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

THE NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
Electraweg 5
NL-3144 CB Maassluis
Tel. +31 (0) 10 599 72 09
Fax +31 (0) 10 599 72 01
glen.van.vugt@struers.de

BELGIQUE

Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
Erskine Ferry Road,
Old Kilpatrick
Glasgow, G60 5EU
Phone +44 1389 877 222
Fax +44 1389 877 600
info@struers.co.uk

USA and CANADA

Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Phone +1 440 871 0071
Fax +1 440 871 8188
info@struers.com

JAPAN

Marumoto Struers K.K.
Takara 3rd Building
18-6, Higashi Ueno 1-chome
Taito-ku, Tokyo 110-0015,
Phone +81 3 5688 2914
Fax +81 3 5688 2927
struers@struers.co.jp

SINGAPORE

Struers A/S
10 Eunos Road 8,
#12-06 North Lobby
Singapore Post Centre
Singapore 408600
Phone +65 6299 2268
Fax +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

