



ワイド・イラスト

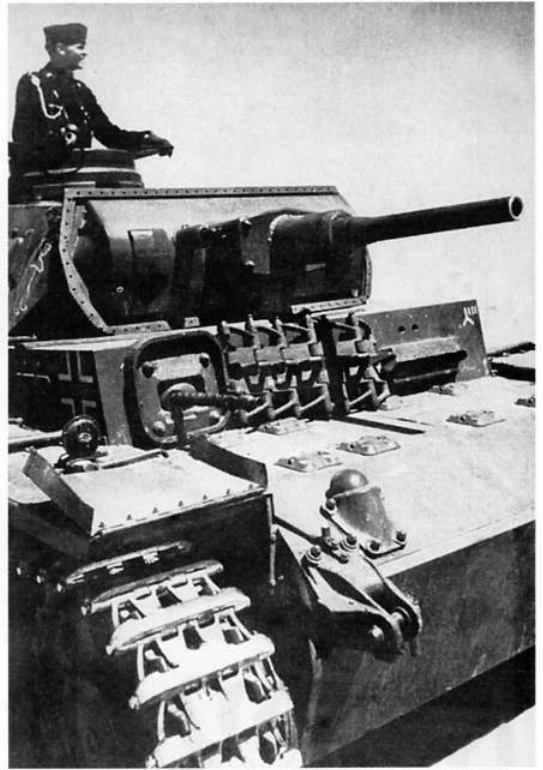
●世界の鉄鋼メーカーの雄のひとつであるクルツプ社が生み出す装甲板を装備するドイツの戦車は、連合軍の対戦車兵器にたいして無類の強さを発揮した。その秘密をさぐるべく連合軍は戦場で捕獲したドイツ戦車を徹底的に研究、その結果は当初の推測とは大きく異なっていた！

ドイツ戦車の装甲

文 康 本 国

徹底研究





ドイツ軍戦車の装甲は強靱で連合軍の戦車砲や対戦車砲では容易に破ることができなかった。写真はIII号戦車

ハーヴェイの浸炭鋼板

ドイツの装甲部隊は手強かった。自国の戦車砲や対戦車砲ではなかなかドイツの戦車を破壊できなかった連合軍は、ドイツ軍の戦車には当時の鋼板としては最高品質の浸炭鋼板が使われているだろうと予測していた。

近代の防弾鋼板は一八八六年にフランスがニッケル鋼の開発に成功した時から始まると言われている。この頃の防弾鋼板の用途は主に戦艦の舷側甲板であった。イギリスではこの鋼板を一八八九年計画のロイヤル・サブリン級戦艦から採用している。日本に関連して言えば、日清戦争を直前にした時代である。

そもそも装甲(鋼板)は硬ければ硬いほど敵の徹甲弾の先端を砕き、その威力を減殺することができる。鋼板を硬くするためには炭素の含有量を増して焼き入れするのがとっさり早い。しかし、硬くしようとするとあまり、鋼(はがね)の中に大量の炭素を入れ過ぎると、ガラスの様に脆くなってしまい、弾丸一発がどこかに命中しただけで鋼板全体が割れてしまうので使い物にならなかった。

これを解決したのがアメリカ人のハーヴェイ(Hervey)の発明した浸炭鋼板である。浸炭鋼板はまず鋼板と鋼板の間に粉碎した木炭や骨炭等の浸炭剤をサンドイッチ状にはさみ、外側から加熱して鋼板に炭素がしみ込むのを待つ。浸炭が終わると裏側が赤熱しな

いように湿砂で囲み、表側からのみ加熱し、所定の深さまで赤熱したところで表側から水をかけて、鋼板表面のみ焼入する方法である。

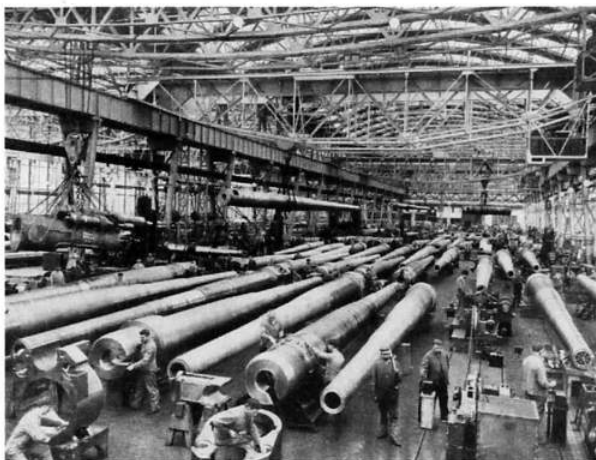
浸炭鋼板は表面の硬い層で敵の弾頭を破壊し、それでも突入してくる弾丸の胴部を強靱な残りの層で受け止める仕組みであった。

表面の脆くて硬い層を、強靱な残りの層で支える構造なので、全体を硬化させた鋼板の様に、一発当たっただけで鋼板が割れ落ちてしまう様な欠点が解消された。

開発された浸炭鋼板はハーヴェイ鋼板と名付けられ、戦艦の防御用に世界中で争って採用された。余談であるが、当時は「しんたん浸炭」と書いたが現代では「浸炭」と書くのでこの稿もそれに従っている。

ハーヴェイ鋼板はイギリスでは一八九三年計画の戦艦リナウンから採用され、日露戦争を戦うためにイギリスで建造された日本戦艦も一八九三年計画の戦艦富士、八島とそれに続く戦艦敷島、朝日、初瀬等に使用された。基本的にはこの浸炭鋼板が第二次世界大戦までのあらゆる防弾鋼板の基礎となった。

その後ドイツのクルップ社は、ハーヴェイの特許を購入し、浸炭に用いる炭素供給方法をハーヴェイ鋼板の炭による固体浸炭法から灯油ガスによるガス浸炭法に変更し、鋼板の成分



ドイツのエッセンにあったクルップ社の工場

も従来のニッケル鋼からニッケル・クロム鋼に改善したクルップ(浸炭)鋼板(Krupp Cemented Armor)を一八九五年に開発した。

このクルップ鋼板はドイツのみならずイギリスでもその優秀性を認められて一八九六年度計画の戦艦カノーパスから採用された。日本の戦艦にも一八九九年に起工した戦艦三笠に使用された事が知られている。

その後イギリスではクルップ鋼板を改良したビッカース(浸炭)鋼板(Vickers Cemented Armor)が開発され、以降イギリスのビッカース鋼板とドイツのクルップ鋼板はしのぎを削っていた。

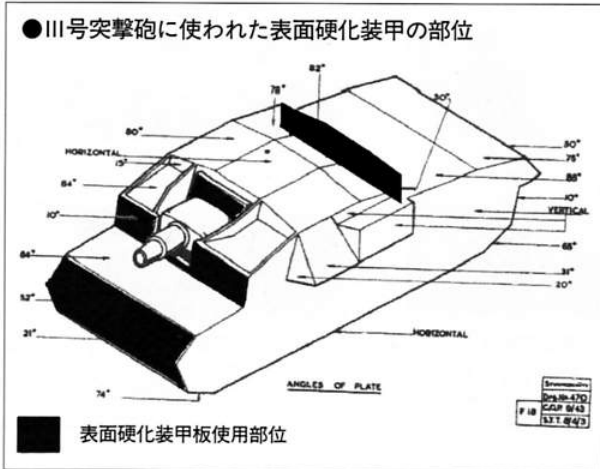
戦車の鋼板

この様な状況下で両国は第一次世界大戦に突入した。

イギリスで戦車が開発された時、装甲は戦艦用のピッカース鋼板をほぼそのまま利用した高炭素のニッケル・クロム鋼であった。鋼板全体を焼き入れし、ブリネル硬度 (BH / Brinell Hardness) が五〇〇〜五七〇程度の硬度に調整されていた。

相手が鉛を銅で覆った小銃弾や機関銃弾だった第一次世界大戦当時は、鋼板が硬ければ小銃弾を粉碎する事ができ、この様な鋼板でも防弾の役目を果

●III号突撃砲に使われた表面硬化装甲の部位



表面硬化装甲板使用部位



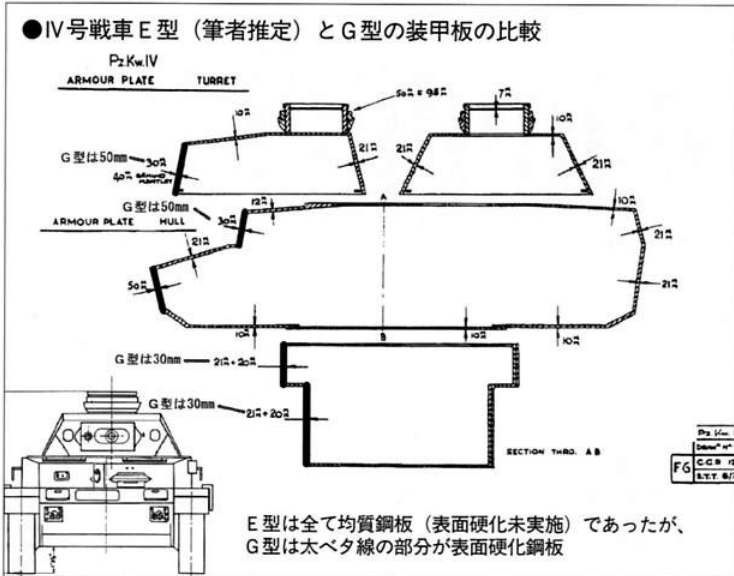
車両の前面に表面硬化鋼板を使ったIII号突撃砲

たす事ができたのである。ドイツも似たような状況であったと思われるが、関連する資料は見つからない。
 第一次世界大戦がドイツの降伏で終了すると、ドイツは戦艦と戦車を製造できなくなり、装甲板の最大の需要先を失なつて、ドイツの装甲板の技術の進歩は止まってしまった。
 大戦間、イギリスのピッカース社は耐弾性を向上させるため、タンクステン（タンク）を二%添加した鋼板を一九二一年に開発、同じく三%添加した鋼板を一九二四年に開発した。これらの鋼板

はブリネル硬度が六〇〇以上にあり、小銃弾に対しては非常に効果があった。

この頃のドイツの防弾鋼板と言えば警察用の装甲車の用途に限られ、細々と製造していたにすぎないが、研究だけは続けられていたらしい。再建ドイツ陸軍初のI号戦車は一九三四年に完成する

●IV号戦車E型（筆者推定）とG型の装甲板の比較

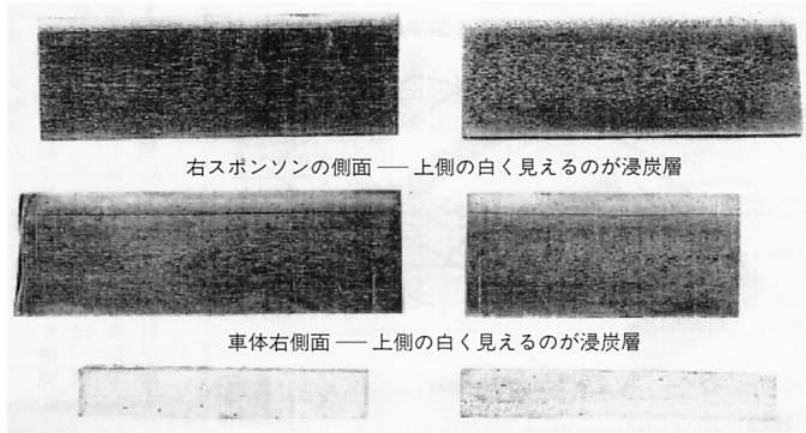


E型は全て均質鋼板（表面硬化未実施）であったが、G型は太ベタ線の部分が表面硬化鋼板

▶英国の捕獲戦車レポートの表紙



が、このころドイツはイギリスのタンクステン添加型防弾鋼板の動向を察知したと思われ、ニッケル・クロム鋼に一%程度のタンクステンを添加した、P IV Cr (ドイツエーデル鉄鋼所・D E W社製) や P 13 (クルップ社製) を開発している。再軍備が開始される以前に、水面下ではすでに戦車用鋼板の技術競争が始まっていたのである。
 その後イギリスでは戦車用の浸炭鋼板として一九三〇年頃に I T 60 (CTA / Cemented Tank Armour) を開発し、一九三八年にはその改良型の I T 60

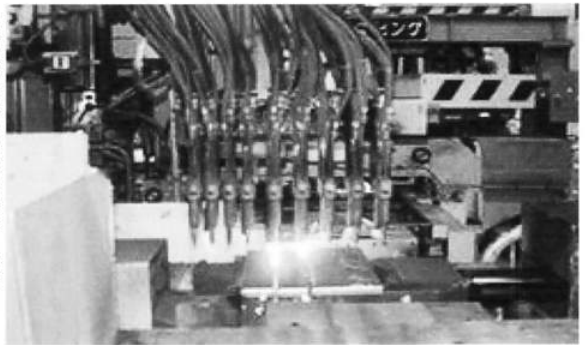


右スポンソンの側面——上側の白く見えるのが浸炭層

車体右側面——上側の白く見えるのが浸炭層

車体上面——焼入層が無い

▶写真は鋼板をいっきよに9カ所切断可能な切断機である。この機械で鋼板を焼いて(温度を上げ)、水を噴射して急冷すれば、ドイツ式の火焰焼入と同じである。
▲IV号戦車の火焰焼入した装甲板の断面。鋼板の断面を硝酸で腐食させたもの。



(ESTA)を開発して規格化した。日本でも浸炭鋼板が防弾鋼II種Bとして開発・規格化され、九七式戦車に一部使用されていた。

ドイツ戦車の調査

再軍備以降のドイツ戦車の鋼板は秘密のベールに隠されていたが、連合国側はガス浸炭法のメツカのクルップ社

を抱えるドイツなのだから、ドイツ戦車の防弾鋼板は当然浸炭鋼板であろうと推定していた。
第二次世界大戦が始まって、ポランド戦線やフランス戦線では連合国側は追いまくられて、ドイツ戦車を捕獲するような余裕は無く、依然としてドイツ戦車の装甲の内容はわからなかったが、北アフリカ戦線ではイギリスとドイツの戦闘は一進一退をくり返

し、多数のドイツ戦車がイギリスに捕獲され、早速調査が始まった。

通常、装甲鋼板の硬さはブリネル硬度で二〇〇〜三五〇程度であり、鋼板表面を硬化させれば五〇〇を超えるので、硬度を測定すれば表面硬化処理が実施されているかどうかを判明する。ブリネル硬度計は大きくて現地に運び込めるような計器では無いが、ポリデイ(Politi)硬度計という携帯型硬度計があつて、この硬度計で硬度五〇〇以上であれば表面硬化が実施されていると判定できた。イギリス軍が戦場やイギリスに搬入したドイツ戦車を調べた結果は表1のようなものであつた。

III号戦車J型、III号突撃砲D型、IV号戦車G型の装甲には、確かに表面硬化された鋼板が使われているのが確認された。そしてドイツ戦車の表面硬化鋼板の使い方には特徴があつた。

表面硬化鋼板を使っているドイツ戦車は、全ての装甲板に表面硬化鋼板を用いていたわけでは無かつた。ドイツはこの表面硬化型の鋼板を最も敵弾を浴びやすく危険な車両正面や砲塔の正面に集中して用いていた。この他の鋼板で表面硬化型と確認されたのはIV号戦車の側面の三〇mmの装甲板と突撃砲の砲塔背面くらいであつた。

車体後面に用いていないのは、乗員との間にエンジンが存在し、エンジンが防弾の一助になっているためと推定され、よく考えられた配置でもある。

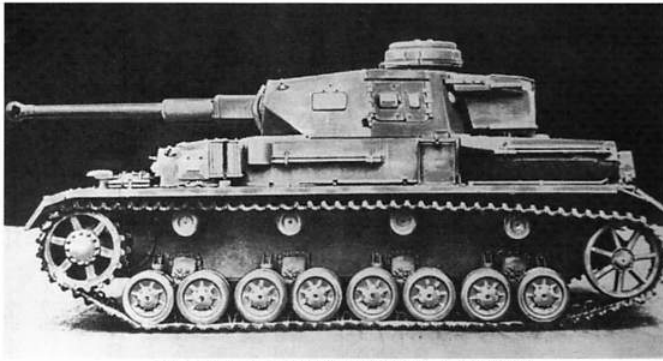
そしてアメリカが自国に運び込んだドイツ戦車をさらに徹底的に調査した

表1 英軍が捕獲調査したドイツ戦車の装甲

戦車の種類	車体番号	型(筆者推定)	捕獲場所	表面硬化鋼板の有無	報告年月
I号戦車	68026	A型		無し	1942.08
II号戦車	28434	F型	中東	無し	1943.10
III号戦車	?	J型	ソ連から受領	一部に採用	1942.09
IV号戦車	?	E型	アフリカ軍団	無し	1942.11
IV号戦車	83072	G型		一部に採用	1943.08
VI号戦車	250122	—	アフリカ軍団	無し	1943.11
III号突撃砲	90683	D型	アフリカ軍団	一部に採用	1943.10
Pak36	2170	—		無し	1943.11

ところ意外な事が判明する。表面硬化鋼板の炭素含有量は、鋼板表面も中心部も変わらなかったためである。浸炭鋼板であれば鋼板表面の炭素量は極端に高いはずである。

ドイツの表面硬化鋼板の表面は炭素量が他の部分と同じであるにもかかわらず、表面の硬度が中心部より二倍程度高かつた。つまりドイツの表面硬化鋼板は浸炭鋼板ではない事が判明したのであつた。



一部の装甲に表面硬化鋼板を使用したIV号戦車

表2 IV号戦車の表面硬化鋼板の炭素量と硬度の関係

場所	鋼板厚	鋼板表面		鋼板中心部	
		炭素量(%)	ブリネル硬度	炭素量(%)	ブリネル硬度
砲塔後部	31.3mm	0.39	601	0.40	331
車体前部	50.4mm	0.39	578	0.39	331

クルップ社はガスとして天然ガスの成分を調整した都市ガスを用いたと言われているが、都市ガスも天然ガスのものであったのか否か

ドイツ陸軍兵器局第六課とベティンクハウス・ゲフェルスベアク社は協力して、ガスのトーチを鋼板表面に走らせて鋼板を順次赤熱し、赤熱部分に水を吹きかけて鋼板の表面だけを焼入する火焰焼入法を開発したのである。

た。



火焰焼入法による表面硬化鋼板を採用したパンターD (上) とフェルジナンド

ドイツは大戦中、浸炭鋼板を戦車に採用していなかった。理由はその生産性の悪さにあった。ドイツの表面硬化は四〜六mm程度あったが、これを浸炭して得るには炭素をしみ込ますのに一mmで一日かかるのでそれに六日、さらに木炭等を除去して、もう一度加熱してから、焼き入れもしなければならぬ。

毎日何十台も製造する戦車には、贅沢すぎる方法であり、再軍備から急激に生産を拡大中のドイツ戦車にはこの様に手間のかかる方法は採用できなかった。かと言って鋼板の表面だけを、

火焰焼入鋼板

しかも簡単に熱する方法は当時無かったのである。

ドイツが再軍備を開始し、高価な浸炭法に代わる表面硬化法を模索していた一九三五年頃、酸素と天然ガスを使用した鋼板のガス切断法が開発された。酸素と天然ガスを鋼板表面に吹き付け発火させれば鋼板が溶けてしまうほどの高温が得られることが判明したのであった。この方法を採用して鋼板表面を瞬時に加熱する事が可能となっ

は、はつきりしない。

火焰焼入法による表面硬化鋼板の規格は、一九三九年一〇月三〇日にTL 4024「表面硬化鋼板」として制定され、III号戦車、III号突撃砲、IV号戦車、フェルジナンドなどの厚い装甲に適用された。火焰焼入鋼板を用いたドイツ戦車はフランス戦線や北アフリカ戦線、そして独ソ戦の初期に大活躍している。そして、パンターでもD、A型に引き続き採用されていた。

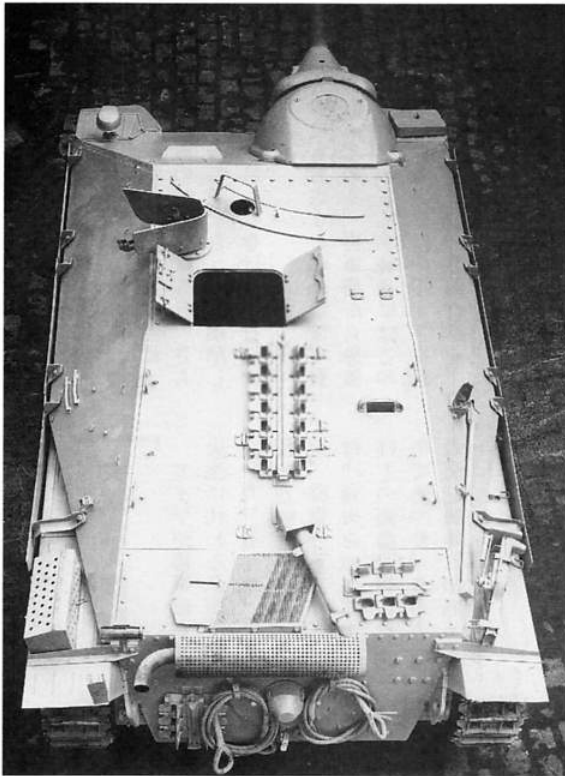
その間、火焰焼入法による表面硬化鋼板の規格は、一九四二年一月一七日、TL 4030「表面硬化鋼板三五

mm〜五〇mm」が追加され、さらに一九四二年一月二五日、TL 4034「表面硬化鋼板五五mm〜八〇mm」が追加された。

これをIV号戦車とパンターの表面硬化鋼板の板厚の推移と対比すると、最初に表面硬化鋼板が用いられたのはIV号D型で、操縦室前面の三〇mmの鋼板であった。

IV号D型の完成は一九三九年一〇月から一九四〇年一〇月だったから、表面硬化鋼板が採用され、D型が完成してから、規格が採用された様である。

五〇mmの表面硬化鋼板は一九四一年



大戦末期の金属不足から砲塔前面のみに防弾鋼板（非表面硬化）を使用し、他は高張力鋼板で間に合わせたヘツター

四月から一九四二年二月に完成したIV号F型から採用され、それより厚い八〇mmの表面硬化鋼板は一九四三年三月から一九四四年二月に完成したIV号H型の操縦席前部と一九四二年末から生産に入ったパンターD型の前面の八〇mmの装甲に採用されているので、五五〜八〇mmに関しては、規格の制定とその板厚の表面硬化鋼板の生産開始がほぼ同時だった事がわかる。

ここで注意しなければならぬのは、火焰焼入した表面硬化鋼板は三五〜八〇mmの板厚の鋼板にしか採用されていないと言う点である。板厚が薄いと、鋼板の表面だけを赤熱しようとしても裏まで赤熱してしまうので、裏まで硬化してしまつて表面硬化鋼板にならない。

また板厚八〇mm以上になると表面硬化してもしなくても、耐弾性能にあまり差が出無かつたので、八〇mm以上の板厚の鋼板には表面硬化は適用されなかつたものと思われる。

ドイツ戦車に採用されるその強さを遺憾なく発揮した表面硬化鋼板であったが、その終焉は意外と早く訪れた。一九四三年の末頃と思われるが、八〇mm程度の厚い鋼板の表面硬化装甲板の廃止の指示が出始め、一九四四年五月ころから生産されたIV号J型の八〇mmの正面装甲は表面硬化鋼板が廃止され、車体側面の三〇mmの装甲にのみ表面硬化鋼板が残つた。

パンターは一九四四年三月に最初の

車体が完成したG型から前面装甲板の表面硬化が廃止され、やはり車体側面の四〇mmの鋼板だけが表面硬化鋼板として残つた。ケーニツヒステイパーも初期のポルシェ砲塔搭載型にしか表面硬化装甲を用いていなかったし、ヤークトパンター、ヤークトティガー、ヘツターにいたつては、もはや表面硬化鋼板が採用された形跡が無い。

全然別な意味で、特異なのはヘツターで、砲塔前面のみ防弾鋼板（非表面硬化/E22）を使用し、残りは高張力鋼板（Siemens-Marteneit）を使つている。大戦末期のニッケル、モリブデン等の合金元素の不足から、切羽つまつての採用と考えられる。

表面硬化（火焰焼入）鋼板廃止の理由は戦後のイギリスの調査によれば、「表面硬化鋼板は鋼板表面の硬化部で敵の弾丸の弾頭先端部を破壊して、鋼板の耐弾性を飛躍的に上昇させるのが目的であり、戦争初期の徹甲弾に対しては非常に有効であつたが、英・米の

被帽付徹甲弾の発達によって、鋼板表面の硬度を上げて、砲弾先端の被帽を壊すだけで弾丸本体は破壊できず、表面硬化によって被帽付徹甲弾への耐弾性がほとんど向上しなくなつてしまつたからだ」とされている。

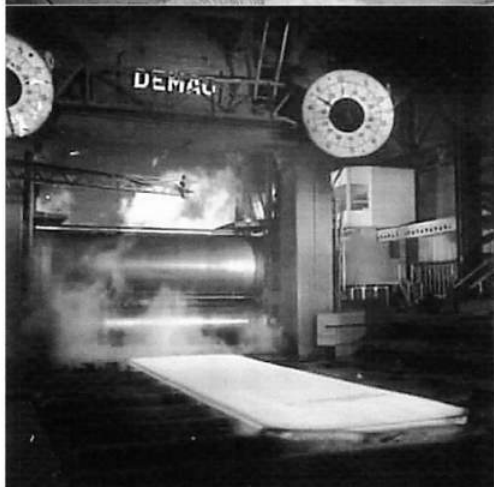
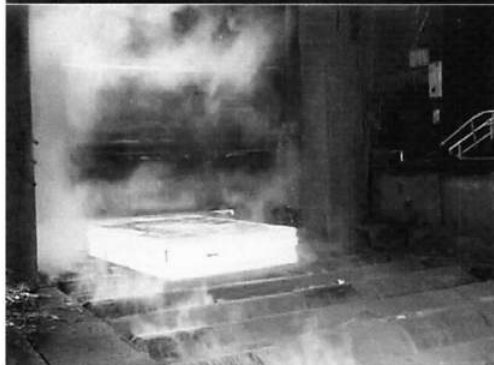
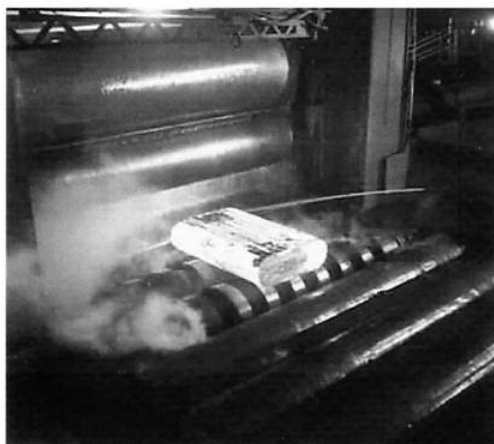
余談ではあるが、ノルマンディーでイギリス軍に捕獲されたポルシェ砲塔搭載型のケーニツヒステイパーの中には、車体の前面と右サイドだけ表面硬化鋼板が使われているという不思議

表3 英軍が捕獲調査したドイツ戦車の装甲

戦車の種類	車体番号	捕獲場所	表面硬化鋼板の有無	報告年月
V号戦車	?	ソ連	無し	1944.03
V号戦車	?	ソ連	一部	1944.03
V号戦車	21301	—	無し	1944.03
VI号戦車IIポルシェ砲塔	250122	ノルマンディー	一部に採用・車体右等	1944.11
VI号戦車II量産砲塔	?	—	無し	1944.10
VI号戦車II量産砲塔	?	—	無し	1944.10
ヤークトパンター	?	—	無し	1944.08
ヤークトティガー	30054	—	無し	1944.12

表4 IV号戦車G型の火焰焼入した均質圧延鋼板の機械的性質

		降伏強さ	引張強さ	伸び	絞り
		(psi)	(psi)	(%)	(%)
砲塔後面(31.3mm板)	圧延方向	134,000	160,600	16.4	58.5
	上記の直角方向	134,000	158,400	14.3	52.1
駆動装置前面(50.4mm板)	圧延方向	136,000	163,400	15.7	51.7
	上記の直角方向	136,000	164,400	14.3	48.2



鋼板の圧延工程——一方向にだけ圧延するとその方向にのみ強い鋼板となってしまうが、90度回転させて再度圧延すると、特定方向に裂けやすい性質が改善された均質圧延鋼板ができる。写真は空母大鳳の飛行甲板を圧延したドイツディマウ社の4000トン水圧圧延機

また既述のドイツの表面硬化鋼板もこの均質圧延鋼板の表面を焼き入れした鋼板である。

を打ち抜けます」と言った表現が出てくるほど現代では常識とも言える防弾鋼板の製造法である。



Plate	Thickness mm	Angle to vertical degrees	Brinell Hardness	
			Outer surface	Inner surface
Front	100	rounded	472	280
Right side	82	30	535-565	325
Left side	80-88	30	305-330	296
Rear	80	30	-	-
Roof front	40	78	278	-
" centre	40	78	300	-
" rear	40	90	-	-

ノルマンディーで捕獲されたティーガーIIの中には前面と右側のみ表面硬化鋼板を使った奇妙な車両があった。下はそのリポート

均質圧延鋼板

な車両が存在した。左サイドは普通の防弾鋼板であり、試作車両が戦場に送られたにしても左右で装甲が異なるのは何とも不思議である。

話は変わるが、鉄は鍛えれば鍛えるほど、鍛えた方向に強くなるという性質を持っている。荷造用のテープは延ばされた方向には非常に強いが、縦には簡単に裂ける。鉄も似た様な性質があり、圧延した方向には強いが、その方向と直角方向には弱い。荷造用のテープなら縦に裂けても切れないが用が足りるが、防弾鋼板は敵弾が命中した時、弱い方向に裂けて弾が内部に侵入しては意味が無い。

この性質を改善するためクロスロール (Cross Roll) 方式という圧延方式が取られる。一度圧延した防弾鋼板を90度回転させてから圧延するのである。こうすれば防弾鋼板が特定の方向に裂けやすいという性質が無くなる。これを均質圧延鋼板 (Rolled Homogeneous Armour) と云う。

表4の鋼板の機械的性質に示されるように、ドイツの鋼板の圧延方向の強度とそれに直角方向の強度はほとんど差がなく、かつ伸びや絞りの割合も現代の目から見ても非常に良くそろっている。ドイツは戦車用の鋼板にはかなり厳密にクロスロールを適用していたことがわかる。

この方法は今でも各国の戦車に標準的に使用されている。

また現代の徹甲弾の評価にもしばしば用いられ、各国の対戦車砲のカタログの威力の欄には必ずと言って良いほど「何mmの均質圧延鋼板 (Rolled Homogeneous Armour) を打ち抜けます」と言った表現が出てくるほど現代では常識とも言える防弾鋼板の製造法である。



工場で製造中のIII号戦車および突撃砲

統一規格の装甲を使用

ドイツ戦車の鋼板規格の推移は、日本ではほとんど解説されたことがない。個々の戦車に用いられた規格がたまたまわかったとしても、体系的に解説された記事は皆無なので、ここでは簡単に紹介する。

独ソ戦が開始される一九四一年頃まではドイツには統一規格が無く、各鋼板製造工場の社内規格をそのまま使っていた。

鋼板の選択は戦車を開発する工場に任せられていたのである。

例えばティーガーIの試作車は、ポルシェのVK4501(P)にはクルップ製のPP703ないしPP7182鋼

板が使用され、一方、ヘンシエルのVK4501(H)の装甲板は組立を担当したドルトムント・ヘアダー・ヒュッテンフェアアイン(DHHV)製のC74とC81が使われた。

ただしティーガーIの量産が開始される和使用量をDHHV一社だけでは賄いきれず、クルップ社製の鋼板も使用するとともに、ウイトコウイツ社も鋼板製造に加わっている。

一九四一年から一九四三年にかけてドイツ防弾鋼板の統一規格(Eigenschaft)の制定が開始され、生産が容易で生産工場を広げることができる薄板から順次規格化が進んでいった。最初に制定されたのは五・一四・五mmの薄板で、ニッケルやモリブデンをふくまないE11として、一九四一年に規格

化された。

続いて一九四二年には板厚一六・五〇mmの鋼板に、モリブデンを添加しないE32が規格化され、ティーガーIにも使用された。

板厚五・五〇mmには一九四二年にニッケル、モリブデンを添加しないE22が規格化され、ティーガーIにも使用されたが、板厚一〇〇mm以上はティーガーIの生産が終了するまで統一規格の使用にいたらず、DHHV社の無ニッケルで、モリブデンを添加したHB75とクルップ社のニッケルとモリブデン添加型のPP7182が用いられていた。

板厚八・五〜一〇mmの統一規格E22やE40、E41が制定されるのは、一九四四年二月以降であり、ティーガーIの生産には間に合わなかったのである(ティーガーIの生産終了は一九四四年八月で、その鋼板の完成はそれよりかなり前である)。

パンター、ヤークトパンター、ヘッツァーには統一規格のE22が用いられ、ティーガーIIには全ての板厚で統一規格が整備されて使用された。板厚二・五mm以下の鋼板にはE32、板厚六〇〜八〇mmにはE22が用いられた所まではティーガーIと同じで、それ以上の肉厚の鋼板は統一規格のE40、E41、E43が用いられた。



クルップ社製の鋼板を使用したポルシェのVK4501

限られた資源の有効活用

ドイツは国内で鉄鉱石は充分産出していたが、ニッケル、モリブデン、タングステン等の稀少金属の産出は充分ではなく、ニッケルは主にアメリカから精錬された物を輸入、モリブデンは精錬前の原鉱石を輸入、タングstenは中国、スペインから輸入しており、イギリスから港を封鎖されると、それが戦車用の防弾鋼板生産に大きな障害

表5 ドイツの防弾鋼板の社内規格および統一規格

メーカー	規格/板厚	制定	C	Mn	Ni	Cr	V	Mo	P&S	引張強さ kg/mm ² (注4)	硬さ (HB) 表面
クルupp (Krupp)	PP793 30~50mm	1939年								110~ 125	324~ 368
	PP793 55~80mm	1939年	0.32~ 0.42	0.30~ 0.60	—	2.00~ 2.40	—	0.15~ 0.30	<0.05	100~ 115	294~ 338
	PP793 85~120mm	1939年 (注1)								95~ 105	265~ 309
	PP7182 85~120mm	1942年5月 (注2)	0.32~ 0.42	0.30~ 0.65	0.40~ 1.00	1.70~ 2.30	<.015	0.20~ 0.35	<0.05	95~ 105	265~ 309
ドイツエ ーデル 鉄鋼所 (DEW)	PVCr 5~13mm	1933年	0.4	0.75	3.65	1.0	W1.0	0.15	0.03 0.03	170~ 180	475~ 500
	PSA 5~14.5mm	1934年	0.43~ 0.53	0.45~ 0.75	—	0.85~ 1.15	—	0.20~ 0.40	0.03 0.03	148~ 158	409~ 438
	PSB 35~80mm	1939年	0.43~ 0.53	0.35~ 0.85	—	1.2~ 1.6	<.25	0.60~ 0.80	0.03 0.03	148~ 158	324~ 368
ドルトムント ヘアダー (DHHV)	C74 16~30mm	1941年	0.44~ 0.51	0.55~ 0.85	—	1.40~ 1.80	—	0.40~ 0.60	<0.05	115~ 130	333~ 382
	C81 55~80mm	1941年	0.41~ 0.49	0.55~ 0.85	—	2.30~ 2.70	—	0.55~ 0.75	<0.05	100~ 90	294~ 265
	C81 85~120mm	1941年								105	309
	HB75 85~120mm	1942年8月	0.32~ 0.42	0.30~ 0.65	—	2.00~ 2.40	—	0.20~ 0.30	<0.05	90~ 105	265~ 309
統一規格	E32 16~30mm	1942年12月	0.37~ 0.47	0.55~ 0.85	—	1.40~ 1.80	—	0.40~ 0.60	<0.05	105~ 120	324~ 370
	E22 35~50mm	1943年2月								95~ 110	279~ 324
	E22 55~80mm	1943年2月	0.37~ 0.47	0.6~ 0.9	—	1.60~ 1.90	<.015	—	<0.05	90~ 105	265~ 309
	E22 85~120mm	1944年6月								75~ 90	265~ 309
	E40 125~160mm	1943年2月	0.32~ 0.42	0.30~ 0.65	—	2.00~ 2.40	—	0.15~ 0.30	<0.05	75~ 90	265
	E41 125~160mm	1944年6月 (注3)	0.30~ 0.40	0.60~ 0.90	1.00~ 1.50	2.30~ 2.70	<.015	—	<0.05	75~ 90	265
	E43 165~200mm	1944年6月	0.32~ 0.42	0.30~ 0.65	0.90~ 1.10	2.80~ 3.20	—	—	<0.05	75~ 90	265

(注1) 85~160mmのPP793が1941年に制定されたとの説もある
 (注2) 85~160mmのPP7182が1941年に制定されたとの説もある
 (注3) 1943年に制定されたとする説もある
 (注4) ドイツ防弾鋼板は引張試験は実施していなかった。硬度からの換算値を示す

表6 イギリスおよび日本の防弾鋼板炭素量

区分	規格/メーカー	制定	C	Mn	Ni	Cr	V	Mo	P&S	引張強さ kg/mm ²	硬さ (HB)
イギリス WW I 時の実績	戦艦用 Vickers鋼板		0.43~ 0.53	0.3~ 0.45	3.7~ 4.2	1.8~ 2.2	—	—	<0.035 <0.035		
	Firths	1914~1918	0.3~ 0.32	0.37	3.9	1.6	0.21	—	0.015 0.02		496~ 515
	Cammel Laird	1914~1918	0.4	0.36	1.7	1.1	—	—	0.05 0.06		507~ 563
	Armstrong whitworth	1914~1918	0.4	0.5	3.6	2.0	—	0.6	0.04 0.04		569~ 572
	Vickers	1921	0.32	0.4	3.6	0.66	W 2.0	—	0.03 0.03		490~ 570
	Vickers	1924	0.36	0.25	3.4	0.7	W 3.3	—	0.036 0.035		615~ 629
イギリスの 生産実績	IT60(CTA) (注1)	1930~1938	0.3	0.4~ 0.5	3.0~ 3.5	0.5~ 0.80	—	0.2~ 0.6	0.01		表面 550~650
	IT60(ESTA) (注2)	1938	0.2	0.4	0.2	3.0	—	0.4	<0.04 <0.04		裏面 350~450
	IT70、80 IT100	1941年 頃	0.26~ 0.28	0.3~ 0.4	3.7~ 3.8	1.7~ 1.9	0.12~ 0.18	0.45~ 0.5	<0.05 <0.05		
	IT70、80 IT100	1941年 頃の新型	0.33	0.46	1.14	2.29	0.06	0.5	0.036 0.04		
日本の防弾 鋼板規格	I種B		<0.50	0.80~ 1.50	1.20~ 1.80	1.20~ 2.00	不明	0.30~ 0.50	<0.05 <0.05		
	II種B (浸炭鋼板)		<0.50	0.80~ 1.50	1.20~ 2.00	1.20~ 2.00	不明	0.30~ 0.50	<0.05 <0.05		>HV550

(注1) オリジナルの戦車用浸炭鋼板、(注2) 改善型戦車用浸炭鋼板

となった。
一九三三〜三四年頃のドイツの防弾鋼板には一・八〜四・五%程度のニッケルと、〇・一五〜〇・四%程度のモリブデンおよびタングステンがふくまれている。また一六〜三〇mmの当時と

しては厚い鋼板には〇・一〜〇・二%程度のバナジウムが添加されていた。これらの成分の中でニッケルが真つ先に問題になった。ニッケルはあらゆる高級鋼、例えば砲、砲弾、鋼板、鋼板溶接用の溶接材料、耐腐食性のステ

ンレス等に必要なる原材料であり、ニッケルが無くれば戦争の継続すら危ぶまれるのである。このためドイツはありとあらゆる鉄鋼製品からのニッケルの削減に躍起になる。当然その中に防弾鋼板に含有さ

れるニッケルもふくまれていたし、小さいものではヘルメット(鉄帽)もニッケル削減の対象であった。板厚一四・五mm以下の鋼板は、一九三七年以降ニッケルが添加されないE14、E11、E11Zが出現し、終戦まで

続いた。板厚一六mm以上の板では、大戦中に一時ニッケルを全く用いないかもしくは低ニッケルのPP793、PSA、PSB、HB75、E12、E22等が次々に規格化された。

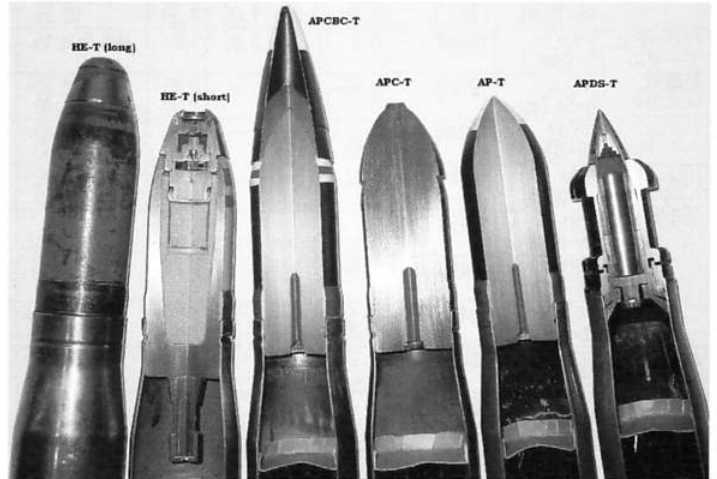
次に不足したのがモリブデンである。モリブデンは焼入性を増加させる元素の中で、最も優れた元素と言われており、少量添加しただけで材料の焼き入れ後の強度をアップさせる。

しかし、モリブデンも供給が逼迫して、一九四二年以降はモリブデンを用いる事が困難になった。だが、無ニッケル、無モリブデンではさすがにま

ともな鋼板製造は難しく、モリブデンは無添加のまま、ニッケルをふたたび添加したE32が出現した。

その後、翌一九四三年にはニッケルも底を尽き、ついに無ニッケル、無モリブデンのE22が規格化され、ティーガーII、パンター、ヤークトパンター、ヘッツアーなどに用いられて大戦末期の防弾鋼板の主流となった。

ただし一二五mm以上の板厚では流石に無ニッケルでは製造できなかったのか、一九四四年にニッケルを添加しな



イギリス軍の各種徹甲弾 (D. J. Harms, Holland)

いE22とともに、ニッケルを添加したE41やE43も同時に規格化するにいたっている。

大戦末期には、それまで比較的潤沢であったクロームも不足しはじめ、クロームの添加量をE22の半分程度にしたE18、E19、E20が開発された。

防弾鋼板にニッケルやモリブデン、バナジウム、タングステン等を添加せずに、鋼板に充分焼きを入れて強度を確保するためには、炭素の含有量をあげるしか無い。このためドイツの装甲用鋼板は炭素量が他国と比べて極端に



無ニッケル&モリブデンのE22を採用したヤークトパンター

多かった。

日本の防弾鋼板の炭素量の規定は〇・二一〇・三五%、イギリスの防弾鋼板(浸炭鋼板)のIT60やIT100の規格も多くは〇・二一〇・三五%であり、ドイツの〇・三二一〇・五三%というのは相当なレベルであった。炭素の含有量をあげると鋼板製造中に焼き割れを起こしやすく、かつ溶接時に割れやすく溶接が困難となるが、背に腹は代えられなかったため、大戦中この溶接時の割れを防ぐため、大戦中防弾鋼板の硬度が下げられており、そ

れなりの工夫が施されていた。

溶接部のアークシールド

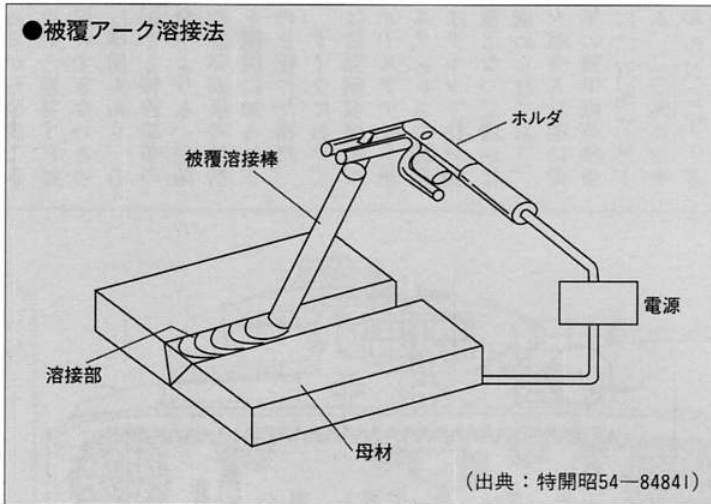
ドイツは他国に先駆けて戦車の組立に溶接を多用した。一九二三年に警察用装甲車を製造した時から、溶接を防弾鋼板の組立に適用していた。溶接法としてはアーク溶接で、溶接材料としては防弾鋼板から削り出した金属棒にメッキを施して使っていた。

初期の溶接はこの国でも同じ様なレベルではあったが、現代の発達した溶接技術の目で見れば、これでは溶接部に空気中の酸素等の金属にとって有害なガスが入り放題であり、溶接部はガスの影響で脆くなり、強度はあまり期待できなかった。

現代多用される被覆アーク溶接は金属棒の外側に被覆を塗布してあり、アークによって炭酸ガスとスラグを発生させ、この両者によって溶接金属を有害なガスや水分などから守る仕組みである。この被覆アーク溶接がドイツで本格的に使用されたのは大戦中盤以降であり、それまでのドイツ戦車の溶接部の品質はあまり良いとは言えなかった。

ドイツ戦車の溶接が連合国に対し優位であったのは、継ぎ手の設計にあった。溶接部が多少割れようが、完全に接合されていないからうが、「防弾溶接継ぎ目」(シュースツイッヒエレ・ナート)や「装甲溶接継ぎ目」(パンツァーシュバイス・ナート)と呼ばれた

●被覆アーク溶接法



継ぎ手は、溶接部全てが剥がれてしまわない限り、乗員を敵弾から守るといふ機能を失わなかったのである。
 そして初期のドイツの溶接法に特徴的な事は、第一に、溶接材料は各社の選択に任せられ、溶接方法も各社の実情に合わせて自由に決定できるようになっていたこと、第二に、溶接部の耐性を上げるため、暴露側の溶接部の表面は極度に硬化するような硬化型の溶接棒を使う様に指定されていたことである。このためドイツでは溶接材料にタンングステンをふくむ表面硬化肉盛用

の溶接材料が発達していた。
 しかし、この事は溶接部表面が割れやすいという副次効果も生み、ロシアの酷寒の中で苦い経験を助長する事になる。
 一九四一年末のロシアの酷寒は、その継ぎ手設計の優秀性だけでは克服できなかった。酷寒の中でソ連の砲弾が戦車の正面装甲に命中すると、装甲が貫通されていないのに、正面装甲全体が車体から瞬時に外れ、砲弾とともに鋼板が車内に入り込んでくる事象が多発したのである。
 ここで溶接部の低温での靱性が問題となった。この問題を解決するため、従来の硬くて強度が高い材料から、多少柔らかくて強度が落ちても、低温で粘り強い材料が必要になった。

話は防弾鋼板の溶接の困難性に飛ぶが、鉄系の金属で防弾鋼板を溶接すると溶接金属には母材から大量の炭素が入り込んでくる。溶接金属は焼き入れと同じ位の速度で急冷されるので、溶接金属は硬化が激しく、割れる恐れがあった。これが防弾鋼板の溶接が難しい理由の最大のものである。
 ステンレスの溶接材料を使用すると、母材から多量の炭素が入り込んでステンレスは基本的に硬化しないので、



ニッケルやモリブデンの添加量の削減は戦車用の鋼板だけではなく、全ての材料におよんでいた。一例を上げればヘルメットがある。
 ドイツ軍のヘルメットには1939年にニッケルやモリブデンがほとんど添加されなくなっていた。

割れる心配が無かった。この事は一九二九年にはイギリスのウーリッジの研究所で発見された。
 また一九三三年にはオーストリアのペーラー社が鋼板のステンレスによる溶接の国際特許を申請した。実はこの頃、各国とも類似の溶接方法を用いており、かつペーラー社の特許には従来知られていた事もかなりの範囲で

ふくまれていた。特許が成立すれば各国ともその特許に抵触する内容を実施しているにもかかわらず、この特許の成立に対して各国ともほとんど反応しなかったと伝えられる。
 極秘中の極秘である自国の戦車の装甲の溶接材料の成分を公表しなければ、特許の裁判が維持できない。仮に訴えられても国家の軍事機密で

●米軍による捕獲ヘルメットの成分調査結果

A. Nickel-Silicon Steel

Helmet No.	Date of Mfg. of Headband	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
10	1938	.34	.55	1.86	.018	.014	2.03	.34	nil	.30	.015
36	1939	.33	.57	1.77	.015	.008	2.19	.32	trace	.26	.02
42	1937	.27	.58	1.85	.016	.008	1.16	.37	.31	.16	.01

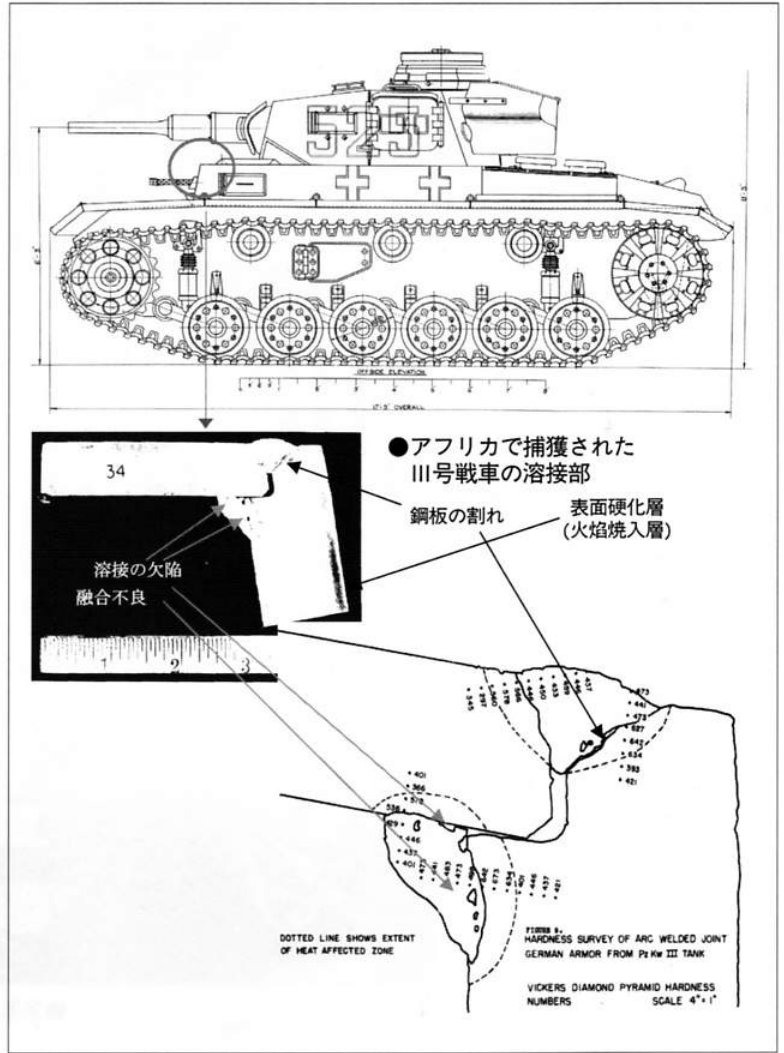
B. Silico-Manganese Steel

Helmet No.	Date of Mfg. of Headband	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
21	1940	.31	.98	1.34	.018	.011	.14	.12	trace	.15	.01
28	1942	.33	1.19	1.26	.014	.017	trace	.05	nil	.03	.015
31	1939	.29	1.15	1.34	.017	.006	trace	.08	trace	.16	.01
34	1940	.40	1.19	1.45	.033	.017	.11	.05	trace	-	.005
35	1942	.36	1.52	1.30	.014	.016	nil	.11	trace	-	.008
38	1940	.39	1.22	1.33	.020	.014	.11	.15	trace	-	.005
44	1940	.36	1.25	1.30	.017	.019	nil	.035	trace	-	.007
45	1940	.36	1.03	1.67	.015	.008	.14	.01	trace	.16	.01

あるから公表できないと回答すれば追及できないという事情もあり、各国とも特許紛争の発生よりも、自国の防弾鋼板の技術を他国に知られるのを嫌った様だ。

ドイツにおいては防弾鋼板溶接用オーステナイト系ステンレスの開発はクルップ社が主流となつて密かに進められており、大戦突入以前に海軍の装甲板溶接用に二五%クロム、二〇%ニッケルのNCT-3と、一八%クロム、八%ニッケル、二%モリブデンのV4Aの開発に成功していた。

クルップ社は一九四一年の酷寒の経験から、低温で粘り強い材料が必要との陸軍兵器局の要求にV10Aという一八%クロム、八%ニッケル、六%マンガンを主成分としたオーステナイト系ステンレス溶接材料の開発で答えた。その優秀性が認められクルップ社のV10Aの他にも、同一成分系のFOX A7(ペーラー社製)、THERMANTIX(DEEW社製)、AKVP



ドイツ溶接法の欠点とは?

(ポリデイ・ヒュッテ社製)が採用された。

一九四一年のロシア戦線の経験は、それまで統一した溶接材料と溶接方法を用いていなかったドイツに、一九四二年から翌年にかけてそれらを統一するという結果をもたらした。しかし、表7に示される様に、戦車

のステンレス溶接材料の需要は莫大であり、莫大なニッケルが必要であった。イギリスの海上封鎖によってニッケルは一九四三年にはなくなることに目に見えていた。このためドイツは、防弾鋼板溶接にステンレスを使用することに統一した矢先に新しい溶接材料の選定に入るといふ苦しい事情となった。

一九四三年末頃になるとアジール社のRND、クルップ社のEV40、ペー

表7 戦車1台あたりの溶接材料使用量 (1942年末予測)

単位: kg

	従来法		改良法	
	ステンレス溶材	鉄系溶材	ステンレス溶材	鉄系溶材
ティーガーII	800	560	240	560
ティーガーI	714	500	214	500
パンター	413	289	124	289
IV号戦車	185	130	55	130

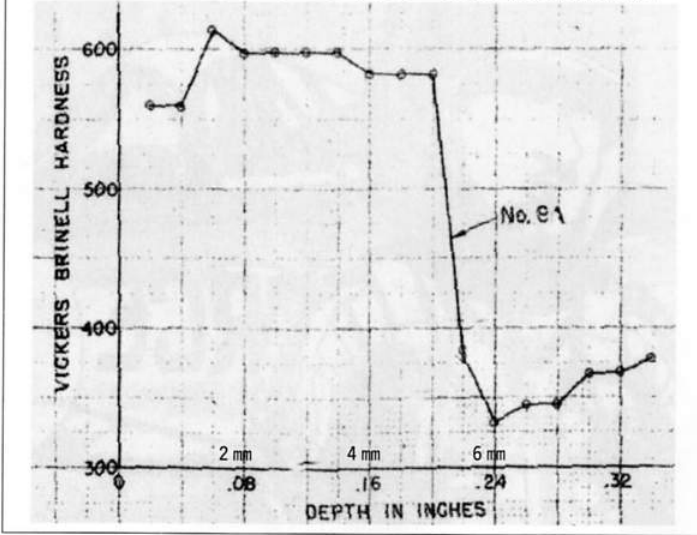
ラー社のPNAという軟鋼の防弾鋼板用溶接材料が開発される。これらの溶接材料は、炭素が母材から入り込んで硬化しないように炭素が〇・〇八%の非常に柔らかい極低炭素の溶接材料であった。

この種の溶接棒で防弾鋼板を溶接する場合はオーステナイト系ステンレス溶接棒と違って、

高電流で溶接すると母材から炭素が入り込み過ぎて、硬化して割れてしまうという特性があり、作業性が悪い低電流で溶接しなければならなかった。ドイツ側の感想によれば、ニッケルの不足によってステンレス溶接材料が使えないという事情がなければ、絶対に使わない溶接材料であった。

これまた余談ではあるが、ドイツの溶接工の賃金は一日に溶かした溶接棒の量で決められていたため、当然高電流を使えば溶接棒は早く溶け、賃金も多くなる。低電流で溶接しなければならぬ軟鋼の溶接材料は不評であり、監督官の目を盗んで電流が上げられ、溶接部の割れが頻発した。

●IV号戦車で一番厚い鋼板の板厚方向の硬度分布(操縦席前部)



この板で5mm程度硬化している。また硬度はピッカース・ブリネル硬度で550~600程度である。

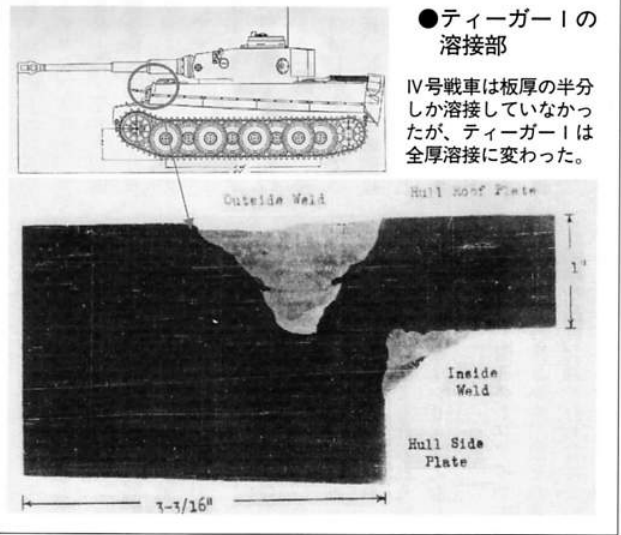
結局この事態は軟鋼の溶接材料に限って、溶かした溶接材料に対するドイツ溶接工の賃金比率を変えるまで解決しなかったと、戦後イギリスに報告されている。
ドイツが溶接法を多用したのは既述のとおりだが、溶接したとき溶接金属が鋼板と接する部分は溶着金属に急激に加熱され、その後鋼板から急激に冷やされて、鉄を焼入したのと同じ様な熱の履歴がかかる。
この部分を溶接部の熱影響層と呼ぶが、ほんの数秒で赤熱状態から室温ま

で冷やされるため、鋼板の熱影響層は鋼板の製造時よりむしろ割れやすい。この割れやすさは溶接前の鋼板の硬度が高ければ高い程顕著となり、また鋼板の厚さが厚ければ厚い程拘束度が増すので顕著になる。
あらかじめ鋼板を暖めておけば、急冷が防げるので割れにくくなる。

表6 ドイツの装甲板厚と硬度の関係と推移

規格の板厚(mm)	イギリスの相当板厚の硬度	年代別ピッカース硬度										
		~1937	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	
5~15	444~495	530	415~475									415~475
16~30	342~388装甲車 262~321戦車		330~338					309~354				309~354
35~50	262~321				320~360			309~354	278~324			278~324
55~80	262~321					285~331			266~309			252~295
85~120	255~302						266~311		220~226			220~266
125~160	241~285							266~302	220~266			220~266
165~200	-								220~266			220~266

だが、予熱すると価格アップにつながるし、冷えたときに変形する恐れもあるので、ドイツの戦車組立は予熱せず、冷いまま溶接された。
前ページのIII号戦車の熱影響層も割れているし、ティーガー戦車の溶接部も割れているのを見てもわかる様に、この熱影響層の割れはかなり深刻であった様で、ドイツは溶接部の熱影響層が割れないように鋼板の硬度を大戦中に下げてい



●ティーガーIの溶接部

IV号戦車は板厚の半分しか溶接していなかったが、ティーガーIは全厚溶接に変わった。

その様な苦しさの中で、それでも有効な鋼板や溶接法を生み出し、イギリスやアメリカより優秀な戦車を送り出したドイツの技術陣の努力には敬服せざるを得ない。
主参考文献
1. GERMAN RESEARCH AND DEVELOPMENT IN TANK ARMOR WELDING BY MAJOR L. F. DENARO
2. GERMAN TANK ARMOUR BY BRITISH INTELLIGENCE OBJECTIVES SUB COMMITTEE
3. PRELIMINARY REPORT SCHOOL OF TANK TECHNOLOGY 各巻 (Pzkw I, II, III, IV, IV special VII)

る。大戦突入時にはドイツの戦車用防弾鋼板の硬度は、イギリスのそれより若干高かったが、終戦時はイギリスよりむしろ低くなっていった。
大戦中のドイツは優秀な防弾鋼板や溶接法の開発というよりは、不足する合金元素との戦いに明け暮れていた。